

نشأة الحياة على كوكب الأرض

نشأة الحياة على كوكب الأرض

عبد يوسف اللواتي

عبد يوسف اللواتي

عبد يوسف اللواتي

نشأة الحياة على كوكب الأرض

عبد يوسف اللواتي

هنا يوسف اللواتي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

وزارة الثقافة والاعلام



دار الشؤون الثقافية العامة

بغداد ١٩٨٩

بغداد - العراق

محمّد يوسف اللومى

نشأة الحياة على كوكب الارض

البحث عن بداية الحياة

تأليف ويليام داي

تقديم (الأستاذة) لين مرغوليس

ترجمة

يعقوب ابونا

مراجعة د. ريمون شكوري



GENESIS ON PLANET EARTH
The Search for Life's Beginning

اعدت هذه الترجمة العربية عن الاصل الصادر اساسا باللغة الانكليزية

Genesis on Planet Earth

بطبعته الثانية بعنوان:

The Search for Life's Beginning

لعام ١٩٨٤

William Day

لؤلفه : ويليام داي

Lynn Margulis

مع مقدمة بقلم لين مرغوليس

عن دار النشر : مطبعة جامعة يال

نيوهيفن ولندن

Yale University Press

New Haven and London

الترجم

مسلسل اصول الاحياء



منظر الارض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة ابولو في مهمة النزول على القمر الاخيرة من برنامج ابولو لوكالة الفضاء الامريكية ناسا

كشف الاشكال

- الغلاف وصدر الكتاب : منظر للأرض من الفضاء كما تم تصويره من المركبة أبولو ١٧ في رحلة النزول على القمر الأخيرة من برنامج أبولو لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا.
- ١/١ - الجهاز الذي استخدمه ميار لمحاكاة التمثيل ما قبل الحياتي للحوامض الامينية والمركبات العضوية الأخرى.
- ١/٢ - نمو الجرف القاري لأمريكا الشمالية
- ١/٣ - أحافير مجهرية من تشكيلة انفرواكت (مستنسخة باذن من جيه بروكس J. Brookes ووجي شو G. Shaw في: «أصل وتطور المنظومات الحية» الصادر عن مطبعة أكاديميك، ١٩٧٣).
- ١/٤ - التصنيف الخماسي للممالك للحياة (باذن من آر ايج ويتيكر R.H. Whittaker في: مجلة العلوم ١٦٣، ص ١٥٠-١٦٠، ١٩٦٩).
- ١/٤ - حقوق الطبع والنشر للجمعية الأمريكية لتقديم العلوم (١٩٦٩).
- ١/٤ - السيانوبكتيريا (غليوكاسا) مكبرة (٤٠٥٠٠) بالمجهر الإلكتروني (باذن من ايج ستيوارث بنكراتس H. Stuartz Pankratz بجامعة ولاية ميشيغان).
- ١/٦ - رسومات لقطعة من الفلين من كتاب هوك Hooke: الميكروغرافيا.
- ٢/٦ - مقطع مستعرض لجزء رئيسي من خلية ثديية مرئي من خلال المجهر الإلكتروني (باذن من دينيس أو كالانان Dennis O'Callaghan بالمركز الطبي بجامعة مسيسيبي. الصورة من قبل نان مانز فيلد Nan Mansfield).
- ٢/٦ - مخطط لخلية يوكاريوتية.
- ٢/٧ - صيغات بنوية للفلوكون D-Glucose.
- ٢/٧ - رسومات لبورات حامض الصاموريك بين الاشباح المرآتية للايسومرين اللامتناظرين الاثني.
- ١/٨ - صورة ضوئية مجهرية الكترونية لفيروس التؤلل الشري (باذن من دينيس أو كالانان بالمركز الطبي بجامعة مسيسيبي. الصورة من قبل نان مانز فيلد).
- ٢/٨ - بنى الحوامض الامينية : ادينين وغوانين وثايمين وسيتوسين ويوراسيل.
- ٢/٨ - بنى الريبوز والديوكسي ريبوز (Deoxynucleotide) : ريبوز قليل الاوكسجين.
- ٤/٨ - بنى الديوكسي نووتيد
- ٥/٨ - جزء رباعي النووتيد من وهن من الدي أن أي يتالف من ديوكسي نووتيدات الادنين (A) والثايمين (T) والسيتوسين (C) والفوانين.
- ٦/٨ - تربية التزاوج النووي في الدي أن أي
- ١/٩ - البنية المقترحة الآر أن أي ناقلة الالانين، والآر إز أي ناقلة التيروسين (من ماديسون والآخرين Madison et al في مجلة علوم ١٥٣، ص ٥٣١).

عام ١٩٦٦. حقوق الطبع والنشر محفوظة للجمعية الأمريكية لترقية العلوم (١٩٦٦).

٢/٩ - ايضاح للربوسومات في البولي هضميتيدات التمثيلية (واطسون: علوم ١٤٠، ص ١٧، ١٩٦٣ - حقوق الطبع والنشر للجمعية الأمريكية لترقية العلوم، ١٩٦٣).

٣/٩ - المدونة الجينية.

١/١٠ - جزيئة من الدنا الثنائي الوهن الطولي (باذن دينس اوكالان بالمرکز الطبي لجامعة مسيسيبي . الصورة من قبل نان مائزفيلد).

٢/١٠ - مؤلف سياق الحوامض الامينية من ٣٠ سيتوكروم سي (مرغولياش Margoliash والآخرين et al في النشوء الجزئي جزء ٢ لشركة نورث هولاند للنشر، ١٩٧١).

٣/١٠ - شجرة التطور السلالي مبنية على السيتوكروم سي (عن اطلس سياق وبنية البروتين ١٩٧٢).

٤/١٠ - نموذج للواقع الفعال للفريدوكسين (هول والآخرين Hall في مجلة الطبيعة ٢٣٣، ص ١٢٨، ١٩٧١، حقوق الطبع والنشر لشركة دوريات ماكملان المحدودة ١٩٧١).

٥/١٠ - مقارنة بين سياقي الكلوسترديوم والكروماتيوم (هول والآخرين، في: النشوء الكيميائي واصول الحياة - شركة دي رايدل D. Reidel للنشر، ١٩٧٣).

٦/١٠ - بيت المدخل لقلم هارليك.

٧/١٠ - كاكاييكا بارغونيا من ويلز (باذن من سانفورد سيفل Sanford Siegel جامعة هاواي).

١/١١ - اختراق الاشعاع ما فوق البنفسجي للماء بتوليفات مختلفة من اجواء الاوكسجين والاوزون (بركنر ومارشال Berkner and Marshall في: مداولات اكاديمية العلوم الطبيعية ٥٣، ص ١٢٢١، لعام ١٩٦٥).

١/١٢ - شجرة التطور السلالي للبروكاريوت واليوكاريوت مبنية على سياقي الفريدوكسين والسيتوكروم سي (برناباس وشوارتز ودايهوف Barnabas, Schwartz- Dayhoff في: اصول الحياة ١٢، ص ٨٣، لعام ١٩٨٢).

٢/١٢ - تخطيط بياني للسلالات الكبرى لتحدر البروكاريوت (فوكس والآخرين) Fox, et al في مجلة علوم ٢٠٩، ص ٤٥٩، لعام ١٩٨٠ حقوق الطبع والنشر للجمعية الأمريكية لترقية العلوم (١٩٨٠).

١/١٣ - مخططات الطاقة لتفسخ اليوريا.

٢/١٣ - بنية مشتقات فوسفات الادينوسين.

٣/١٣ - التمثيل الحيوي للفلوتامين

١/١٤ - الطيف الكهرومغناطيسي.

٢/١٤ - بنية اليخضور ا.

٣/١٢ - ثنائي نووتيدادين النيكوتيناميد (NAD)

- ٤/١٤ - استخدام الالكترونات العالية الطاقة من اليخضور المنشط لاختزال ثنائي فوسفات ادينين النيكوتيناميد المؤكسد (NADP ox) الى ثنائي فوسفات ادينين النيكوتيناميد المختزل
- ٥/١٤ - جبيلة يخضور الطماطة كما هي مرئية من خلال مجهر الكتروني (باذن من راندول اس بوبيان Randall S. Beaubien بجامعة مشيغان الحكومية).
- ٦/١٤ - تايفس الكربوهيدرات بواسطة التنفس لانتاج ثلاثي فوسفات الادنوسين ATP .
- ٧/١٤ - مقارنة بين النواتج او الحصائل (مفرد: حصيلة) الطاقة من تحلل الفلوكوز الى حامض البيروفيك مقابل اكسدة البيروفات الى ثاني اوكسيد الكربون والماء.
- ١/١٥ - التطور النشوني للفريوسكسينات (هول والاخرون في: النشوء الكيميائي الكوني واصول الحياة . شركة دي رايدل للنشر ١٩٧٣).
- ٢/١٥ - صورة ضوئية بالمجهر الالكتروني لجسيمة فيروس القوبا (فريون Virion . باذن دينيس اوكالاغان بالمركز الطبي لجامعة ميسيسيبي . الصورة من قبل آر. ابوديلي R. Abodeely ، من مجلة الفيرولوجيان، ص ٥١٤، لعام ١٩٧٧).
- ١/١٦ - تفسرسة ورقة البرسيم للكر ان اي الناقلة للالانين (alanine transfer RNA)
- ١/١٧ - تترامر الناي امينوماليو نيتريل (diaminomaleonitrile tetramer (HCN tetramer)
- ١/١٨ - بنية الاتب ATP
- ١/١٩ - بنية ادينيلات الحوامض الامينية .
- ٢/١٩ - بلورة ادينيلات الحوامض الامينية في الموتروديلونيت (بيخت هوروفيتس Paecht Horowitz في: منظومات حيوية ٩، ص ٩٣ لعام ١٩٧٧).
- ٢/٢٠ - ثنائي هضميتيدة .
- ٢/٢٠ - الهضميتيدات المتحدة بواسطة رابط ثنائي الكبريتيد والروابط الهيدروجينية .
- ٤/٢٠ - بنية لولب الفا لبروتينة .
- ٥/٢٠ - تخطيط ايضاحي للبنية الاولى والثانوية والثالثية لبروتينة الجرنومة مايوغلوين (آر. ثي. ديكرسن R.E. Dickerson من عملية تحليل بالاشعة السينية وبنية البروتين، في: البروتينات، طعة ثانية منقحة تحرير ايج نوراث H. Neurath المطبعة الاكاديمية ، ١٩٦٤، جزء ٢، صفحة ٦٣٢).
- ٦/٢٠ - سياق الحوامض الامينية في ليسوزيم آح البيض (كانفيلد وليو Canfield and Liu، مجلة الكيمياء البيولوجية ٢٤، ص ١٩٩٧-٢٠٠٢، لعام ١٩٦٥).

- ٧/٢٠ - جزيئة الـيسوزيم (مخططة من قبل السير لورنس براغ - Sir Lawrence Bragg)
- ١/٢١ - فوسفور اميدات A phosphoramidate
- ٢/٢١ - خماسي فوسفور اميدازول الادنوسين
- ٣/٢١ - ثنائي وثلاثي فوسفات الادنوسين
- ٤/٢١ - الآلية المفترضة لبلورة اول فوسفات الثيامين القليل الاوكسجين (d-TMP) بالايبيدازول (ابانيز والآخرين Ibanez et al في: النشوء الكيميائي واصل الحياة ، شركة نورث هولاند للنشر ١٩٧١).
- ٥/٢١ - مخطط بياني لتمثيل جينة باستعمال بولي نووتيدات التجير بطريقة خورانا.
- ١/٢٢ - الانعقادات المدة من الجلوتين والصمغ العربي (باذن جورج هيلدنبرانت George Hildenbrandt من جامعة بنسلفانيا الحكومية).
- ٢/٢٢ - كريات مجهرية مكونة من البوليمر الحراري شبه البروتيني للحامض الاميني الحامض المظلي في الماء (كنيون وشتاينمان Kenyon, Steinman في: القدرة البيوكيميائية biochemical predestination ، من منشورات مكمبر وهيل ، ١٩٦٩).
- ١/٢٣ - وحدات بنوية اساسية للمنظومات البيولوجية.
- ١/٢٣ - المذيلات والدهنوسومة (حويصلة).
- ٢/٢٣ - مخطط بياني يوضح ماخذ الحوامض الامينية بواسطة الالديهايد الى الحويصلة الدهنية (ستيلاويل Stillwell في: منظومات حيوية Biosystems ٨ ، ص ١١١ ، لعام ١٩٧٦).
- ٤/٢٣ - النموذج المقترح لتكوين الحويصلات الثنائية المراحل بفعل التموج على الرقائق السطحية (surface films) (كولديكر والآخرين Goldacre et al في: الظواهر السطحية في الكيمياء والبيولوجيا ، مطبعة برغامون ، ١٩٥٨).
- ٥/٢٣ - حويصلات منتجة في مستخرج من تجربة افتعالية للتمثيل ما قبل الحياتي للمركبات الدهنية (هارغريفز والآخرين Hargreaves et al في مجلة الطبيعة ، ٢٢٦ ، ص ٧٨ لعام ١٩٧٧).
- ٦/٢٣ - خطوات افتراضية في نشأة الأغشية الحية (هارغريفز وديمر Hargreaves and Deamer في: الأغشية الناقلة للضوء : بنيتها ووظيفتها ونشأتها ، مطبعة الاكاديميك ١٩٧٨).
- ١/٢٤ - نموذج مقترح للفسفرة الضوئية باستعمال الضوء ما فوق البنفسجي لاننتاج الـاتب (جيه ستيلويل في: البيولوجيا النظرية ٦٥ ، ص ٤٧٩ ، لعام ١٩٧٧).

- ١/٢٥ - الثيامين Thiamine
٢/٢٥ - البريدوكسال والبيوتين Pridoxal and Biotin
٣/٢٥ - مقترح سياق الاحداث المؤدية الى تكوين الخلية البيولوجية.
١/٢٦ - صورة لشمس الاصيل في منطقة خروسة بلادشيا في الريح التقطتها المركبة فايكنج الاولى بتاريخ ٢٠ آب ١٩٧٦ (باذن من وكالة ناسا).
٢/٢٦ - بنية الفراميسيدين اس.
٢/٢٦ - مقارنة بين تمثيل الحامض الدهني والهضميتيدة الالامونة (noncoded)
٤/٢٦ - الكوكب زحل مرتيا من اكبر اقماره، التيتان ، على بعد (٧٦٠٠٠٠) ميل منه، كما تخيله الفنان تشيزلي بونيستيل Chesley Bonestell
١/٢٧ - سقوط نيزك انيسهايم في الازراس في عام ١٤٩٢.
٢/٢٧ - نيزك اورغيل (باذن معهد سميثونيان بواشنطن دي سي) ٢
٣/٢٧ - نيزك مرجيسون (باذن متحف التاريخ الطبيعي بشيكاغو).
١/٢٨ - رسم بياني يبين مراحل النشوء الرئيسة المفضية الى الانسان.

كشف الجداول

- الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية.
١/٢ - الفلزات الرئيسية في القشرة الارضية .
٢/٢ - المواد المتطايرة الموجودة الآن على سطح الارض او بالقرب منه والتي لا تفسرها التعرية الصخرية.
١/١٢ - الطاقة السائبة القياسية لحلماة المركبات الفوسفاتية.
١/١٥ - تضاعف افتراضي للجينة على فترات ١٨٨ مليون سنة.
٢/١٥ - تركيبة الجرثومة دياالستريومو سنتيس .
١/١٦ - الفلزات البركانية .
٢/١٦ - تركيزات المعادن الثقيلة المطلوبة كثيرا.
١/١٧ - الحاصلات من تقديح خليط من CH_4 و NH_4 و H_2O و H_2
٢/١٧ - اغلاء H_2 و $HCNNH_3$ و $HCHO$ و CHO و CH_3 و H_2O و C_2H_5CHO لمدة اسبوع واحد.
٣/١٧ - المصادر الحالية للطاقة معملة للارض كلها .
١/٢٧ - جزيئات وجبت في وسط ما بين النجوم.

مقدمة

اثناء الفصل الثاني من العام الدراسي ١٩٧٨ وفي حومة مهمة تعليمية ضخمة، وردتني بريد الكتب نسخة من الطبعة الاولى من كتاب ويليام داي « نشأة الحياة على كوكب الارض ». حتى آنذاك لم يكن الكاتب ويليام داي ولا دار النشر « طالوس » معروفين لدي كليا، ومن نظرة سريعة على صفحات الكتاب وجدت انه ينتشر هنا وهناك في المتن صيغ التمثيل الضوئي والتنفس ، كلها مطبوعة بالآلة الطابعة اليدوية . بدا لي من الوهلة الاولى ان الصفحات مشحونة بعبارات من قبيل « نوع يعقب نوع وعتبة تلي عتبة في صعود متواصل على سلم النشوء والارتقاء » و « الانسان نفسه لن يتغير كثيرا ولا يتقدم ابعد من مجتمعه التكنولوجي لجرد ان التكنولوجيا قد حلت محل التطور البيولوجي . » .

بدا ان داي كان قد عكف على تخليد المفاهيم المفلوطة الشائعة حول النشوء والتطور بينما أنا انفق الكثير من وقتي، اثناء مساعي النشوء والتطور اللتين أقوم بتدريسهما، في نقض وتفنيد مثل هذه الأقوال السائبة بعينها، ذاك لأننا نرفض رفضا باتا « النظرية الصنوفية » التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر ، والشديدة التطابق مع نظرية « سلم الحياة » الارسطوطالية . وعلى نقض فكرة التطور التدريجي للصنوف نحو كائنات ارقى، نقوم باستنباط وتطوير افكار حول نشأة الجينات ومعدلات انتشار الخصائص في المجموعات السكانية الطبيعية . انه من السخف الإنكار ان الناس لا تزال تتطور، ونقوم بضرب الامثلة كليا على اثر الانتقاء الطبيعي على مجموعات سكانية مختلفة اليوم .

زيادة على ذلك يتحتم على أن أقوم اسبوعيا بمصارعة سيل من هذه النشوء الزائف، لا يخلو من نظريات دينية ، حول ما يفترض انه من موضوعات النشوء والتطور، ويشمل في جملته نداءات هاتفية ورسائل ومقالات وحتى كتب . ازاء وضع كهذا ، لا غرو اذن ان ارمي، بعد نظرة عابرة ، بكتاب داي حول التكوين في كومة « المفوضات فلسفيا » ، لاسيما وأنه كان، بشريطة الاحمر البراق المخاط به، قد بدا لي اشبه بكتاب للتسايبح او المدايح الدينية منه بمرجع حول العلوم الطبيعية .

لكن هذا الامر احزنني كثيرا، لان الحاجة ماسة جدا الى مرجع علمي شامل وواضح حول نشأة الحياة .

لكن ميتشل رامبلر Mitchell Rambler ، زميلي في التعليم في مادة النشوء البيئي آنذاك ، ورئيس برنامج البيولوجيا الخارجية في مكاتب علوم الحياة لوكالة الفضاء الامريكية ناسا (NASA) بواشنطن الآن، تناول الكتاب من كومة المهملات وحمله معه الى البيت . وبعد اسبوع واجهني بتوصية ثابتة صريحة لنقوم باستعمال كتاب داي كمرجع دراسي تكميمي في الدورة الدراسية كوحدة شاملة حول اصول الحياة ونشأتها الاولى . حثني رامبلر على ذلك بحماس

شديد بقوله « اقرئي الاقسام حول اصل التمثيل المقترن لحامض النويك والبروتين، واقربي القسم الاول حول اشباه البروتين »، فعملت بتوصيته ووجدت نفسي أعكف على قراءة الكتاب من الغلاف الى الغلاف، ودهشت للغاية من نفسي انني اسأت تقديره اول الامر، ورحت اشكر رامبلر بجزالة على اقتراحه، واخذنا نستعمل الكتاب باستمرار منذئذ.

ان المرء ليفغر لداي كليشيهاته البيولوجية والعيوب السوارة في الفصل الجيولوجي، وبصرف النظر ايضا عن النتاج العادي البيئي للمجلد الذي جرى توزيعه من عنوان خصوصي في « ايسيت لانسينك » بمشيغان ، ويسر المرء متبهاً بكتاب جلي العبارة بالغ الاهمية متنسق الاسلوب يربط معا الارصاد الفلكية والاكتشافات الجيولوجية والميكروبيولوجية ، ولاسيما الكيمياء ما قبل الحياتية، هاهوذا الكتاب المنشود، وقد افلح واضعه في معالجة تاريخ المعضلة الفكرية العملاقة حول اصل الحياة بوضوح وسلاسة بالفين، وباسلوب في متناول الطلبة والدارسين تعاماً.

والآن، في عام ١٩٨٤، وبعد ان تمت اعادة صياغة المتن على نطاق واسع، فقد تقلصت عيوب الكتاب الى حد كبير وبرزت قوته وجدارة مادته، فالأخراج قد تحسن كثيراً مع احتفاظ الكتاب بجلائه وشموليته الاصيلين، وجاءت هذه الطبعة الثانية المنقحة نتاجاً متقناً وخليقاً بالاهتمام.

يشرح داي بجلاء خال من كل غموض كيف قد تم تحويل مسألة اصل الحياة من مصدر لتحديدات والتخمينات الفكرية الى مسألة في العلوم التجريبية والارصادية ، يفترض داي بكل صواب ان مسألة اصل الحياة ونشأتها تقع كلياً ضمن نطاق الحاول العلمية ، وهو يرى ان امراً سيراً واحداً، هو اصول المونومرات، لا يتخطى الا بقليل دائرة المسائل الكيميائية العادية، ثم يعرض التقديم الهائل المنجز في هذا المضمار بأسلوب في غاية الوضوح.

لكن ما أسرع ما يتمدد الموضوع ويتلاصق، ان مسألة ظهور الحياة من مونومرات كيميائية عضوية وجزئياتها الكبرى أكثر تعقيداً وتواشجاً الى حد بالغ. ان المسألة المركزية هنا هي اصل المنظومات الذاتية التكوّن المتأبضة الناشئة من الكيميائيات، وهي مطابقة بذاتها لمسألة ظهور الخلية البروكاريوتية في حدها الأدنى، فتمتد، من البيوكيمياء والبيولوجيا، من حدها الاقرب، الى أعماق غياهب الميكروبيولوجيا اللاهوائية في حدها الأقصى، وهنا بالذات، في وصف هذا الحد الكيميائي البيولوجي، وهو لب المسألة ، يبرز نبوغ داي بتفوق، فهو يميز التجارب المنطبقة ذات العلاقة ويقدم خدمة جليلة كبرى للخير البيولوجي والخير الكيميائي في تقييمه الدقيق للتفاصيل غير ذات العلاقة ، ويشرح المحددات الحالية للعناصر المختلفة التي يتركز عليها تفسيرنا لظهور المنظومة الكيميائية الذاتية الادامة المسماة بالحياة، انما تتضاعل براءة داي قليلا في معالجته لمادة الوراثة والجينات وبيولوجيا الخلية وبيولوجيا ما قبل دهر الحياة الظاهرة والبيولوجيا المتطورة للانسان ، غير ان الامر الحقيقي بالتقدير

هنا هو انه يكتب عنها بوضوح غير منقوص وبأسلوب مباشر ومشوق واخاذ.
تقف الطبعة الثانية المنقحة من كتاب داي فريدة بذاتها . بصفتها الكتاب
الذي كنا ننشد، انه نتاج اصيل يفيض بالشروح الواضحة الشاملة لاصل
نشأة الحياة بمفهومة العلمي، وهي الدراما العظمى التي وقعت على سطح الارض
قبل حوالي اربعة آلاف مليون سنة خلت، زد على ذلك، ان الكتاب مصمم
من البداية للطلاب والدارسين . فالطلاب والعلمون والباحثون والمشاهدون لعالمنا
في عصره الفضائي هذا كلهم سيجدون ايما ترحيب بهذا الكتاب المرجع ويهتفون
مطبعة جامعة يال لطرحه وجعله في متناول جمهور اوسع .

لين مرغوليس
بروفسورة البيولوجيا

جامعة بوسطن
كانون الثاني ١٩٨٤



مقدمة المؤلف

الى ما قبل ثلاثين سنة خلت ، كانت اية دراسة هادفة لكيفية بداية الحياة على الارض البدائية تبدو خارج نطاق التحقيق العلمي، اذ كانت حتى ابسط المتعضيات المجهرية المؤلفة من جزئيات كبرى ومعقدة للغاية المسماة البروتينات ، -كانت- متواشجة ومتداخلة وملتبسة الى حد كان التحليل العلمي الدقيق آنذاك يقف عاجزا كلياً عن خرق حواجزها لتحري غمارها والتعرف على مكوناتها ، وكانت الجينات هي المفتاح الى تكاثر الحياة . هنا كان يفترض ان تمثيل البروتينات يتم في نوع من صفحة مغبرة او مرسومة، لكن لما كانت العناصر المكونة للبروتينات ، وهي الحوامض الامينية ، تحصل في الطبيعة فقط كنواتج لمنظومات بيولوجية فقط، ظل هذا السؤال قائماً ومحيراً: كيف اذا تكونت الخلايا الاولى؟

ثم تقاطرت الاحداث كلها في نفس السنة، عام ١٩٥٣، حين أعلن فريدريك سانجر Frederick Sanger أنه قد تمكن هو والعاملون معه من تحليل البنية الاولى لجزيئة بروتينية ، وأعلن جيمز واطسون James Watson وفرنسيس كريك Francis Crick عن تمكنهما من فك شفرة الاساس الكيميائي للحياة ووجدوا أنه يتكون من حامض نووي مزدوج اللولبية ، ثم جاءت تجربة ستانلي ملر Stanley Miller التي كشفت عن كيفية امكان اختلاف اللبنات البنائية للحياة دون وجود مسبق لأية خلية حية.

انطلقت البحوث حول اصل الحياة، بعد ان تحررت بما كان يصيبها من التشلل وبعد ان استحدثت بعصر الفضاء، انطلقت نحو عهد من الاكتشافات والفتوحات العلمية بواسطة تلك الانجازات الثلاثة العلمية الكبرى لم يلبث ان تبددت امامه المفاهيم القديمة لتحل محلها نظريات جديدة فيما غيرت التجارب المختبرية صورة الارض البدائية، واماطت الاوضاع الجديدة اللثام عن الادلة الى كيفية بداية الحياة.

واليوم قد أصبح في مقدور العلم اعادة رسم كيفية ظهور الحياة على الارض في بادئ امرها، انها قصة مثيرة وخطابة ممتعة في تدرج البحوث وفي النتائج. والمسألة التي كانت تجابه العلماء في بحوثهم: في أي مستوى من الوجود المادي كانت للمادة القابلية على ردم الفراغ واجتسار الهوة التي كانت تفصل العالم البيولوجي عن العالم الجمادي الصرف؟

وكي نجد اصل نشأة الحياة يتوجب علينا ان نرجع الى ظروف قد انمحت وزالت ، ولم يبق لها اي اثر في الوجود.

يقتضي بنا ان نعود الى عصر سابق قد انقضى وتلاشى في الماضي السحيق حين كانت الاحوال خلاف ما هي عليه اليوم، كما يجب ان نرجع أيضاً الى بعد مختلف مغاير للابعد التي نالها اليوم ، يلزم ان نعود الى عهد الصغائر الدقيقة الذي ينأى أشواطاً شاسعة عن متناول ادراكنا الحسي، الى مستوى كانت الحياة توجد فيه اقرب الى الحاجز البيني الذي يفصل بين الحي واللاحي،



فانه هنالك على ذلك المستوى وفي تلك الاحوال لزمن سابق بعيد نجد العتبة التي افضت الى عالم الاحياء من العالم الجمادي الصرف.

كلمة شكر وتقدير

ان معظم المواد الخلفية لهذا الكتاب مستمدة من المناقشات العديدة والمثيرة التي قمت باجرائها مع ويليام ستيلويل William Stillwell وفرانك دينز Frank Denes وآخرين خلال فترة مكوثنا في معهد التنشئة الجزيئية والغوية في ميامي. والشروح التحليلية الثمينة التي أدلى بها ويليام ستيلويل هي التي مكنت من ظهور الطبعة الأولى من هذا الكتاب.

كما انني مدين للغاية للبروفسورة لين مرغوليس لما أبدته من دعم ومقترحات ساندت بشأن أعداد هذه الطبعة المنقحة. كذلك ازجي جزيل شكري الى لويس براون Louis Brown على تصحيحاته في مادتي الطاقة والفلك، والى بن ستولر Ben Stoller على تبادل الافكار والمواد، والى لورا راندول Laura Randall على التشجيع الذي لقيته منها، والى العديد من قراء الطبعة الأولى الذين اغدقوا بتعليقاتهم التشجيعية.

لقد قام جورج هيلدنبرانتونيس او كلاغان وجون باسفورد John Basford وبن ساندي فان دنيس Dennis O'Callaghan، وجون باسفورد John Basford، وبن ساندي فان أوزدول Ben and Sandy Van Osdol، بقراءة النص الأصلي وتقديم المواد وإبداء آراء لا تثنى في مناقشة ملء الموضوع، وقد كان ساندي فان أوزدول متعاوناً على وجه الخصوص في مراجعة مسودات النص المنقح.

ولابد من ابداء كلمة تقدير ايضا الى ستانلي ميلر Stanley Miller، وجيه ويليام شوبف J. William Schopf، وبريستون كلاود Preston Cloud، وكارل ووزه Carl Woese، وديفيد ديمر David Deamer، وويل هارغريفز Will Hargreaves، لما أسدوه من مساعدة في تصويب فصول معينة في كلتا الطبعتين الأصلية والمنقحة. لكل هؤلاء وغيرهم جميعاً ممن ساهموا بالمواد في الكتاب يضم هذا المجلد عرفانا بفضلهم.

المؤلف

توطئة

ان ما يرويه ويليام داي، واضع هذا الكتاب الذي بين يدي القاريء الآن، عن نشأة الحياة على كوكب الارض يدفع المرء الى الافتراض بأحتمال تواجد حياة بدائية جدا من نوع أو آخر لا تزال في مستواها دون المجهرى أو المجهرى أو ارقى من ذلك بقليل أو كثير على الكواكب الترابية المتصلبة (terrestrial) الاخرى كالارض في منظومتنا الشمسية ، وهي ثلاثة: عطارد، وهو اقرب الكواكب الى الشمس ويبلغ بعده عنها (٣٦) مليون ميل، ودرجة الحرارة في نصفه الحار المضاء على الدوام تقع بحوالى (٥٤٠٠) مئوية وفي نصفه البارد المظلم على الدوام بحوالى (- ٥٢٠) مئوية ، والزهرة ، وهي تكاد تكون بحجم الارض تقريبا ، لها جو كثيف للغاية تلبده غيوم سميقة ، وتبعد عن الشمس بمسافة (٦٧) مليون ميل؛ والمريخ، أو الكوكب الاحمر، وهو اكثر الكواكب شبيها بالارض من حيث المناخ ودورته حول نفسه وحول الشمس ، رغم ان جاذبيته اقل من نصف جاذبية الارض، وقطبيه مغطيان بالثلوج الدائمة ، ويبلغ بعده عن الشمس (١٤٢) مليون ميل. اما الكواكب الخمسة الاكبر والابعد والمعوتة بالخارجية، خلاف الاربعة الداخلية المذكورة، فانها لا تزال في حالتها الغازية . فالمشتري، وهو اقربها الى الشمس ويبعد عنها فقط (٤٨٤) مليون ميل في المعدل، لا زالت كثافة كتلته تقل عن كثافة الماء. واحتمال وجود حياة بدائية لا يقتصر على كواكب منظومتنا الشمسية بل لابد وانه ينطبق ايضا على المنظومات الشمسية الاخرى في مجرتنا، ام النجوم، التي تضم مائة الف مليون منظومة منها ما هو اكبر من منظومتنا بكثير جدا، وايضا على كواكب المنظومات الشمسية في المجرات الاخرى المنتشرة بالآلاف وملايين الملايين اللامحدودة ، ومنها ما هو اكبر بكثير من مجرتنا، في الفضاء أو الكون الرهيب .

ان تطور الحياة على كوكب رهن بتطور الكوكب ذاته ، والارض لا تزال في تطور متواصل ، وهكذا احيائها معها ايضا، فاذا تباطأ كوكب في تطوره أو توقف عن التطور في احدى مراحلها ، كما هي الحال في قمرنا مثلا، فان احياءه ايضا تواجه المصير نفسه ، واما ان تبقى في مستواها بدون مزيد من التطور، ان لم يكن ذلك حد التطور الاقصى للكوكب، أو تتضاءل وتنقرض كلياً اذا اختلت البيئة المؤاتية لبقائها أو اقتصحت أو تعرضت لمؤثرات اخرى تعدم الحياة .

لذل الدراسات ان العناصر الاثني والتسمين الطبيعية الموجودة في الارض هي نفسها التي يتألف منها باقي الكون ولا يوجد غيرها. ويقول داي ان الفحوص والتحليلات المختبرية الكيميائية والبيولوجية المجراة على النيازك المختلفة



للساقطة على الارض من الفضاء ، وكذلك الصخور المستجبة من القمر، جميعها قد كشفت عن احتوائها لنفس الفلزات الموجودة في الأرض مع نسب مختلفة من بعض نفس المواد والمركبات العضوية ما قبل الحيوية التي تكونت منها الحياة بالاصل على الأرض، كالسكاكر الأولية والبروتينات، وهذه هي المواد التي تكونت منها اللبنة الأساسية للحياة بشكل ما يسمى بهضميتيدات (peptides) وبولي نووتيدات (ply nucleotides) تضامت والتامت بحكم ظروف وجدت في حينها، متأثرة بالغازات والابخرة المتصاعدة من جوف الأرض وبمقدورات الاندلاعات البركانية ، ومستمدة الطاقة من ضوء الشمس ومصادر الطاقة الاخرى في بيئتها الأرضية، فتمخضت عن حياة بشكل خلية وظيفية متمامة بدائية، ثم ان الاحياء الأرضية من حيوانية ونباتية، بما فيها الانسان نفسه، تتألف فقط من (٤٠) من هذه العناصر الطبيعية ، وجميعها عادية وشائعة ولا يوجد بينها اي عنصر نادر او غريب. ومن بين هذه الاربعين تكفي ثمانية عشر منها فقط لتكوين الحياة ، ان الجبيلة الأولية او البروتوبلازما (protoplasm) تتألف من (٣٦) عنصرا لكن اربعة من هذه فقط تؤلف (٩٨٪) من مجموع تركيبة الجبيلة، وهذه هي الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاكسجين، مع زيادة نسبة الكربون على الجميع.

كلنا بالاصل ننحدر من خلية بدائية واحدة تولدت ونمت وتكاثرت وتطورت وتشتعبت في دورات مرحلية تكرارية لا حصر لها عبر ما يناهز اربعة آلاف مليون سنة، لا شأن لها غير البحث عن الغذاء مندفعة بالفطرة الى التطور والارتقاء.

ان عالم الاحياء عالم رهيب هائل وعجيب الى حد يفوق التصور ويتجاوز المعقول، اعتبارا من الاجسام الحية المرئية اعتياديا، حيوانية ونباتية ، ونزولا في الحجم الى اصغر الجراثيم وأدقها التي تحتاج الى التكبير الى عشرات ومئات الآلاف من المرات للتمكن من مجرد رؤيتها، ثم من هناك تبدأ تستدق في الصغر الى ما دون قدرة المجهر الادراكية وتندرج في الصغر حتى الفاصل البيني ما بين الحياة والجماد ثم تتضائل وتتلاشى في الجماد الصرف او ما هو لا يزال بنظرنا جمادا صرفا. ومفردات اجزاء الحياة أو لبناتها البنائية لا تشكل حياة بذاتها، وانما تضامها والتشامها معا هو الذي يشكل الحياة بفعل تحفز فاعلية أحدها بفاعلية الاخر.

يحكي المؤلف داي قصة نشأة الحياة على كوكب الارض بأسلوب شيق اخاذ وبمفهوم التجارب المختبرية الاعتمادية للتفاعلات الكيميائية التي كان محتملا وقوعها في بيئة الأرض البدائية ، والمستدل عليها وفق الدراسات والتحريات العلمية المختلفة والتجارب القائمة عليها. هذه هي الأرض قد غدت كتلة تراكمية صلبة يغمرها ضوء الشمس وتسفعها أشعته ما فوق البنفسجية، فتتفاعل عناصرها الطبيعية الى ان تتمخض عن خلية حية تنطلق ساعة وراء الغذاء حفاظا على بقائها بدافع الغريزة فتتكاثر وتطلق افرازاتها في البيئة فتطورها وتغيرها وتطور هي وتغير معها، وتتسارع وتيرة اختلاق الحياة أولا على نطاق دقيق مجهرى وفي تجمعات المياه الضحلة التي نمت واتسعت بالتدريج وصارت بحارنا



التي نألفها اليوم، وتتعاقب الاحقاب والدهور والحياة في تزايد وتنوع مطردين وريبدأ الاوكسجين بالتراكم في فضاء أو جو الأرض. وفي كل حقبة تظهر احياء تظل باقية طوال بقاء البيئة المؤاتية لبقائها وتنقرض بزوالها لتظهر احياء ارقى منها تلائم البيئة الجديدة فتعيش فيها وتتفاعل معها وتعمل على تغييرها حتى اذا ما بلغ تغير البيئة مرحلته الحرجة أو الخطيرة تبدأ هذه الاحياء بالتضاؤل بينما تكون قد ظهرت أخرى اكثر ملائمة للبيئة المتغيرة فتزدهر الجديدة وتنقرض القديمة ، وهكذا دواليك الى ان ظهر الانسان قبل زهاء خمسة أو عشرة ملايين سنة خلت. لكن الانسان الاول الذي يرجع أصله بعض العلماء بما فيهم داي نفسه ، الى ما قبل اربعة الى خمسة ملايين سنة ، بينما يقول آخرون ان اول ظهور الانسان كان قبل حوالي خمسة وعشرين مليون سنة، وهذا هو اقدم تقدير لظهور اجناس عديدة من الانسان ، كإنسان النياندرتال (Neanderthal) وإنسان الكرومافنون (Cromagnon) وغيرهما . اما نحن ، الانسان البشر ، فلم تتمر التنقيبات الجيولوجية على أي اثر لنا اقدم من زهاء نصف مليون أو ستمائة الف سنة مضت فقط. وحتى الى ما قبل ثلاثين أو اربعين الف سنة كانت اجناس من الانسان غيرنا تعيش اواخر عهدها آنذاك وانقرضت وزالت تماما . وتشير التنقيبات الجيولوجية ايضا الى ان الانسان الحالي بدأ يقلع عن التجوال والصيد ويستقر في مجتمعات زراعية قبل فقط حوالي عشرة آلاف سنة، وليس اكثر.

لا يجزم المؤلف في اقواله بشيء ، ولكنه يطرح الامثلة مع البراهين الثبوتية عليها فتحكي هي قصتها بنفسها ، ويرسم لنا كيف ان الخط الفاصل بين الكيمياء العضوية واللاعضوية وهمي، وذلك في مدرج من التقارب وتساؤل الفوارق وتزايد التشابه الى ان يتلاشى آخر فارق فلا يبقى لدينا غير مجرد كيمياء فقط، وتلك هي كيمياء الأرض البدائية على فطرتها ما قبل الحياتية قبل زهاء اربعة آلاف مليون سنة.

ان الانسان والاحياء والطبيعة كلها في تطور ارتقائي متواصل ، لكن الانسان قد اخذ يتحكم بتطوره وتطور بيئته بفضل علومه وتكنولوجياه، والربما انه قد سارع الخطو، اما الى أين فذلك ما لم يلتفت احد حتى الآن الى معابنته من أي منظور. لكن ربما لا تزال المرحلة الحرجة كمن اشواط بعيدة في المستقبل. والانسان الآن في بداية عصره الفضائي، عصر ازدياد العوالم الاخرى والتنقل بين الكواكب في الكون، ولابد ان تصبح الاسفار الفضائية في يوم ما كالسفر بالطائرة اليوم وفي الغد القريب . ذلك لأن الطائرات التي تستطيع قطع حوالي نصف طول محيط الأرض أو اكثر في ظرف ساعة واحدة أو اقل على وشك الانطلاق في الاجواء مع طول التسمينات من قرننا العشرين هذا.

والسؤال في الفقرة السابقة «اما الى أين؟» هو السؤال الذي يطرحه داي نفسه الذي يربط بين تطور الانسان وتقدمه التكنولوجي، ويحذر من ان استمرار الانسان في صب ذهنيته التفكيرية في الآلات ربما يؤدي سهوا الى افلات زمام التكنولوجيا من يديه وتصبح الآلات ذاتية التكاثف والتطور والتصرف فتسبق



الإنسان وتعلو عليه فيكون بذلك آخر عهد له في سيادته على الأرض والطبيعة، ويتراجع دوره أمام الادمغة الآلية الجبارة ويتخلف عنها، وفي النهاية ، كخطية البروكاريوت قبل أكثر من ألف مليون سنة، يبدأ بالانكماش والانقراض، أو ربما يظل بعضه في البقاء، كما هي في البروكاريوت اليوم، في مجتمعات ضئيلة منزوية في بيئات منعزلة على هامش الوجود لا تفقه شيئاً مما يجري حولها وعاجزة كل العجز من مواكبة مسيرة التبدل العظيمة الذي تشعب منها أو تولد بفعلها.

الترجم

هنا يوسف اللوشي

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

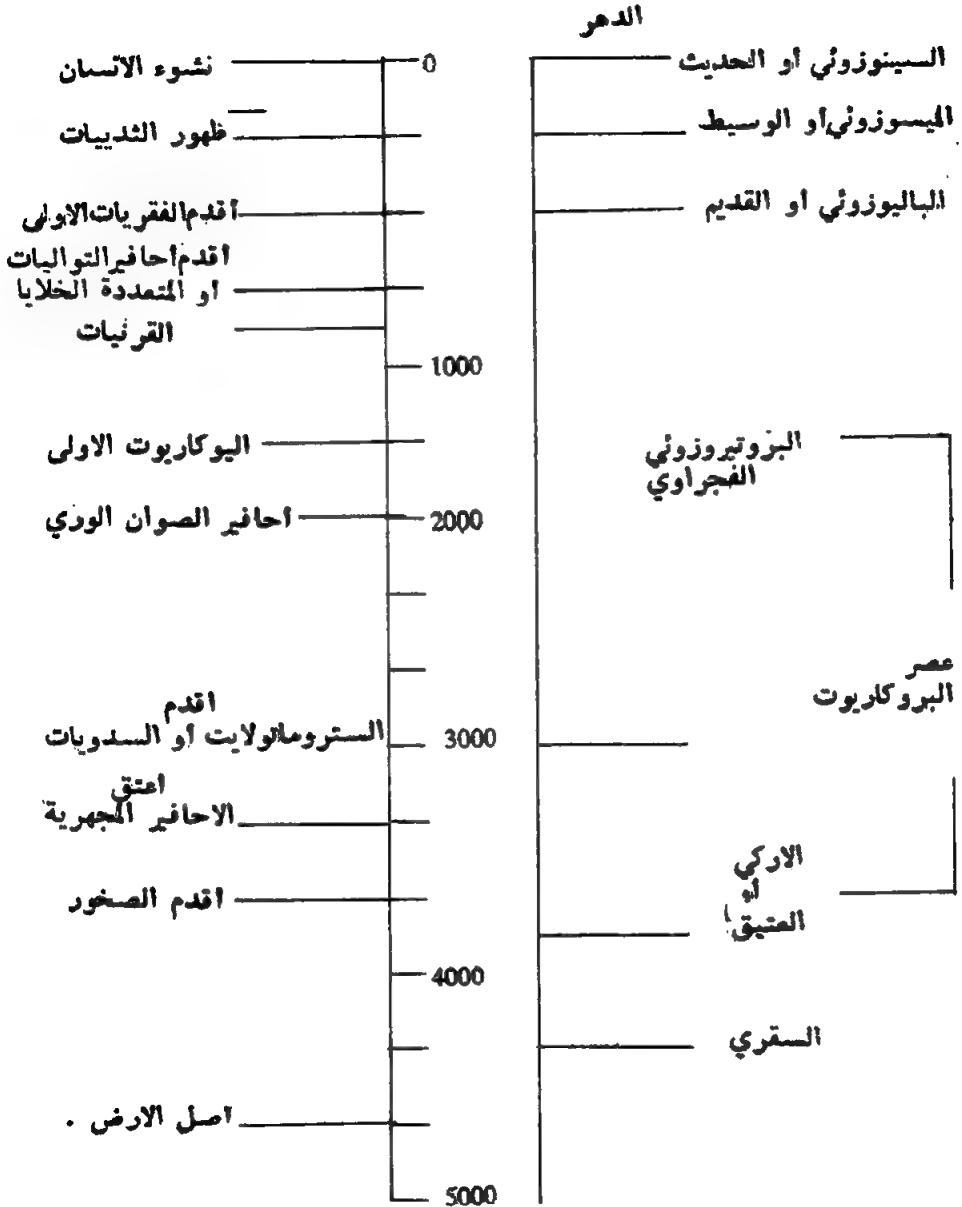
على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem



الزمن الجيولوجي والتشكلات الجيولوجية



الفصل الاول

البنات البنائية

كان الوقت احدى عصريات الخريف من عام ١٩٥١، حين باشر هارولد يوري Harold Urey، أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومكتشف عنصر الديوتيريوم، وهو أحد اشكال الهيدروجين الثقيل ، بالقاء محاضراته في جامعة شيكاغو في موضوع يشكل احدى دراسات عمره، ألا وهو أصل المنظومة الشمسية. ففي آخر كتاب له^(١)، انجز حديثا آنذاك ، كان قد افترض ان نظرا الى الاحوال المنقوصة للسديم الشمسي الذي أدى الى تكون الكواكب فان الجوى البدائي للارض لم يكن يتضمن الاوكسجين مثلما هو شأنه اليوم ، وانما تألف فقط من غازات الميثان والامونيا والهيدروجين.

جلس جميع الطلاب وهيئة التدريس يستمعون باهتمام. لقد تغيرت النظريات حول أصل الشمس والارض والكواكب على تعاقب القرون ، ولم يعد يعتقد الآن بأن الكواكب تكونت من قطرات المادة المنصورة المنقذفة من الشمس اثناء اصطدام عنيف لها بنجم آخر. في عام ١٩٤٣، أي قبل ذلك بشماني سنوات فقط ، كان عالم ألماني قد طرح بأن الكواكب تكونت بفعل وتراكم المواد الصلبة المتناثرة من الدراوير الدوامة لسحابة هائلة من الغبار والغازات ، ومن جهة أخرى لم يكن الا في عام ١٩٢٩ ان اكتشف ان الكون يتألف في معظمه من غاز الهيدروجين وان وجود الاوكسجين الطليق في جو الارض يشكل واقعة كونية غريبة.

واصل البروفسور محاضراته موعلا في موضوع آخر محجب له هو اصل الحياة، فقد اعتقد العلماء في العموم انه لا بد ان الحياة بدأت على الارض الاولى قبل آلاف الملايين من السنين بطريقة يمكن تفسيرها علميا ، لكن

التدليل على كيفية امكان حصول هذا كان عسيرا للغاية ، وكنتيجة كانت الدراسات حول أصل الحياة قد بقيت في حالة من الشلل . لقد بينت علوم الحياة ان جميع اشكال الحياة تتألف من مواد كيميائية معينة هي لبناتها البنائية ، وهذه المواد هي الحوامض الامينية (amino acids) ، والسكريات (sugars)، والدهنيات (lipids) ، ونوعان من القواعد الحلقية اللامتجانسة (heterocyclic bases) يسميان بالبيورينات purines والبيريديينات (pyrimidines) وهذه المكونات مرتبطة معا في بوليمرية كبيرة ، فالحوامض الامينية تشكل البروتينات (proteins) ، والسكريات تشكل البولي سكريدات (polysaccharides) ، والقواعد تشكل الحوامض النووية (nucleic acids) واتضاد هذه البوليمرات (polymers) المشبكة في وحدات مغلقة بأغشية دهنية يشكل الخلايا الحية، غير ان الصعوبة التي حيرت العلماء واجبطت جهودهم طوال أكثر من مائة وخمسين عاما هي ان اللبانات البنائية تبدو انها منتجة في الطبيعة فقط من قبل متعضيات (organisms) حية. هناك اذن يكمن اللغز المتناقض المزاوغ، فاذا كانت النباتات والحيوانات الحية هي فقط التي بوسعها أن تقوم بتمثيل (synthesise) الحوامض الامينية وغيرها من اللبانات البنائية اللازمة لاختلافها هي بذاتها ، كيف، اذن، تمكنت الحياة أصلا أن تبدأ على الارض؟

أخذ بعض الطلاب يدون الملاحظات ، لكن الاغلبية تركت افكارها تحوم حول المسألة بحثا عن أجوبة جاهزة عن السؤال . كانت الندوة قد بدأت تزداد انهماكا، فالنظريات حول المادة والطاقة والكون اخاذة ومثيرة بحد ذاتها، لكن التحديث حول تكون الحياة من مواد جامدة صرف اقتدح المخيلة واذن بالخطر.

استمر يوري يحاضر قائلا : لا بد انه وجدت على الارض البدائية



ظروف قد انمحت وزالت الآن وكانت هي التي أتاحت للحياة أن تبدأ، لأن انعدام الاوكسجين الطليق وانخفاض الضغط الجوي كانا ليؤديان الى نشوء بيئة كيميائية مختلفة. اذ، لكي تتمكن الخلية من النشوء لابد أن بعض المركبات العضوية كانت قد تواجدت مسبقا قبل نشوء الحياة ذاتها. انما هذا كان مجرد افتراض ، ولم يكن يوجد أي برهان تجريبي على امكانية تكون في الارض ما قبل البيولوجية أو الحياتية اية مواد عضوية لازمة لنشأة الحياة مطلقا، مع ذلك، ان المنطق يفرض حتمية اختلاق مركبات عضوية على الارض البدائية بطريقة ما قبل أن تتمكن الحياة من التكون.

وفيما واصل يوري محاضراته حول الحيرة في كيفية بداية الحياة كان أحد الطلاب من السنة الاولى من الدراسات العليا ، وهو شاب من كاليفورنيا يدعى ستانلي ميلر Stanley Miller يصفي باهتمام بالغ ، كان ميلر في الحادية والعشرين آنذاك، وقد جاء الى شيكاغو من باركلي في ايلول وكان لا يزال يبحث عن مسألة بحثية مناسبة ليعمل عليها لاعداد رسالته. ان النقطة التي اثارها البروفسور يوري تبدو معقولة تماما ، لكن لربما ان البرهنة على كيفية تكون المادة العضوية في الاحوال البدائية للارض عملية تستغرق زمنا طويلا، لذلك، ازاح ميلر الفكرة جانبا عن ذهنه واستسلم لرأيه الاول في البحث عن مسألة أكثر نظرية.

انقضت الندوة بفترة الاسئلة الممهودة. ألم يقيم البيوكيميائي الروسي الكسندر اوبارين Alexander Oparin ايضا بالبحث في امكانية تكون المركبات العضوية في الضغط المنخفض قبل وجود أي اوكسجين فيه؟ أجاب يوري بالتأييد ووضح أنه لم يقيم أحد بالتحقق من صحتها في اختبار تجريبي. في ذلك الشتاء انطلق الطالب الشاب المتخرج من كاليفورنيا يباحث مختلف اساتذة الكيمياء حول اهتماماتهم البحثية الخاصة بهدف العثور على مشروع



معجز يعمل عليه لاعداد اطروحته ، وفي الاخير اعتزم على الدراسة على يدي
البروفسور ادورد تيلر Edward Teller ، الحجة المعروفة في الفيزياء الذرية،
في موضوع كيفية تكوّن العناصر في النجوم الشديدة الحرارة ،
لكن بعد انقضاء ستة شهور أعلن البروفسور تيلر اعتزامه على مغادرة
جامعة شيكاغو ليفتح مختبرا في مدينة ليفرمور بكاليفورنيا ، وعاد ميلر مرة
أخرى يواجه مشكلة البحث عن مشرف جديد يتدرب تحت اشرافه وموضوع
جديد يعد منه رسالته ، وعادت به الذاكرة الى ندوة يوري والاسئلة التي
كانت قد أثارتهام. ربما ان العمل الذي تستلزمه التجربة لن يكون مختصا
بالقدر الذي تراهى له بالاصل وكلما أمعن في التفكير بالامر كلما راقى له
المسألة أكثر واشتد حماسه لها بترايده.

وعندما قام بمفاتحة يوري بشأن اجراء التجربة لتحري كيفية امكان
تكون المركبات العضوية على الارض ما قبل الحيوية (prebiotic earth)
قوبل حماسه بحذر بالغ ، وشرح له البروفسور احتمال أن يؤول مثل هذا
البحث الى مهمة شاقة وطويلة وعقيمة ، واقترح عليه دراسة امر وجود عنصر
الثاليوم (Thalium) في النيازك . فقط بعدما أدرك يوري مدى تصميم
الطالب على المضي بفكرته وافق على قيامه بخوض مسألة كيفية تمثّل
المركبات العضوية وحذره ان لم تسفر الدراسة عن نتيجة ملموسة في ظرف
ستة شهور فيتوجب على ميلر آنذاك التخلي عن التجربة والانتقال الى بحث
تقليدي أكثر من ذلك ليضمن النجاح لاطروحته.

خلال الاسابيع التالية قام ميلر بدراسة بحث يوري حول هذا
الموضوع^(٢) وطالع كتاب اوبارين^(٣)، حاول بالتعاون مع يوري تصميم جهاز
مختبري بوسعه أن يحاكي الاحوال الجوية المفترضة للارض البدائية . ان
المطلوب هو شيء يشبه مصدرا طبيعيا ليفعل فعله على خليط من الغازات

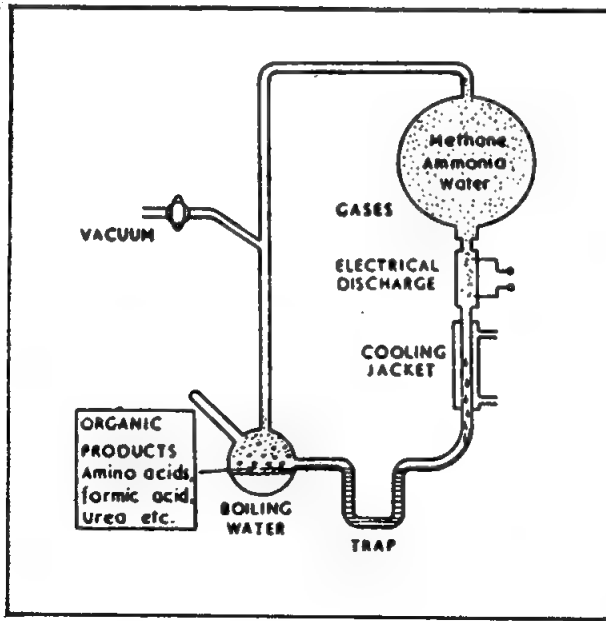
لتوليد تفاعل كيميائي، لكن لما كان الجو يتلقى الرطوبة المتبخرة من البحار، والتي تتكاثف ثانية لتعود الى السطح كأمطار ، فانه يلزم ان يشتمل الجهاز على كمية من الماء ايضا. تم رسم التصميم وادع الى مصنع الزجاج للانشاء.

بعد أسبوع كان قد تم تحويل الرسم الى انموذج كامل من الانابيب والقوارير الزجاجية المتصلة . تألف الجهاز الكامل من حجرة زجاجية بسعة خمسة لترات مركبة فوق انبوبة زجاجية في باطنها قضيبا الكترود تنغستن مع رأسيهما متقاربين لبعضها بما يكفي ليتسنى للشرارة القفز عبر الثغرة بينهما ، وفي اسفل هذه ربطت مكثفة موصولة بأنبوبة بشكل (يو: U تمتد الى قارورة مرتجع الماء كما تم تمديد انبوبة ارتجاع من القارورة عودة الى الحجرة. كان هذا جهازا مغلقا حيث الماء المغلي في القارورة يمر كبخار عبر الشرارة الكهربائية ثم يتكثف ويعود الى القارورة . كان الجهاز يمثل انموذجا للاحوال الجوية في الارض البدائية ويحاكي وقوع العواصف الرعدية في الجو البدائي.

نصب ميلر الجهاز وأخذ يتأمل تركيبته ، قرأ التعليمات الخاصة بليفة تسلا (Tesla coil) التي ستقوم بتوليد الشرارة الكهربائية وذهل عندما وجد انها تنتج ستين ألف فولط . تردد ازاء هذا وبدأت الشكوك تغشي افكاره حول امكانية اجراء التجربة . ان كلا من الهيدروجين والميثان يشكل خلائط متفجرة مع الهواء، وأي تسرب سيؤدي الى كارثة لا محالة، وحتى مجرد فكرة اقتداح ستين ألف فولط في الماء بدت محفوفة بالمخاطر ، ثم لما كان الجهاز كسيما للهواء فان تسخين الماء الى درجة التبخر والتكثف سيحدد الغازات ويمكن أن يولد ضغوطا خطيرة . قام ميلر باعادة الجهاز الى نافخ الزجاج وطلب مبادلة موضعي المكثفة والانبوبة المحتوية لثغرة الشرارة.



بدا الجهاز الآن أكثر أماناً بعد تغيير تركيبته لتأني الحرارة عقب تكاثف بخار الماء، وقرر ميلر وضع التجربة في حيز الاختبار، صب الماء في القارورة وفرغ الهواء من الجهاز وضح محله خليطاً من الميثان والهيدروجين، ثم قام بفحص الجهاز ليتأكد أنه خال تماماً من كل أثر للاوكسجين، وفحصه أيضاً للتأكد من عدم وجود أي تسرب فيه ووجده كتيماً كلياً، وبحذر قام بمقبس لفيفة تسلا بمقبس الكهرباء وبدأ يصعد التفريغ الكهربائي (electric discharge) بتسهيل إلى ضغط ستين ألف فولط، وبدأت عتائق برة زرقاء تتطفر عبر الشرارة بين الكترودي التتغستن بفرقة إبقاعة.



الشكل ١/١ - الجهاز الذي استخدمه ميلر ليحاكي التمثيل ما قبل الاحيائي
للحوامض الامينية والبروتينات العضوية الأخرى.

لم يبدُ أن أي شيء آخر قد حصل وعاد ميلر الى رحلته ليحاول ان يدرس، لكنه بين حين وآخر كان يذهب الى الجهاز ليتفقد طوال تلك الأمسية ليرى ما اذا يمكنه أن يلمح اي تغيير فيه. وعندما حان وقت الذهاب الى البيت قرر ان يترك الجهاز يعمل طوال الليل . في الصباح التالي عندما دخل الى المختبر رأى طبقة باهتة من الهيدروكربون عائمة على سطح الماء في القارورة . لكنه لم يجد أي جديد في ذلك، فقد كان باحثون قبله قد لاحظوا النتيجة نفسها عند قيامهم بتعريض الميثان لتفريغ كهربائي، فترك التجربة تستمر لعدة ايام اصبحت طبقة الهيدروكربون خلالها سميكة ، لكن التحليل الذي أجراه للماء بعد ذلك لم يكشف عن وجود اي شيء يشبه مواد عضوية ذات صفة بيولوجية.

ربما ان الستين الف فولط هذه أقل خطرا مما بدا له للوهلة الاولى. قام ميلر باعادة الجهاز الى المصنع وطلب اعادة المكثفة وأنبوبة الالكترودين كلا الى موضعها الاصلي، وبعد اسبوع كان مستعدا للقيام بمحاولة أخرى. وقام بتكرار التجربة . في هذه المرة قام بتدفئة الماء في القارورة الى حرارة منخفضة بلفيفة تسخين، ومرة أخرى ترك التجربة تستمر متواصلة، بعد يومين رأى ميلر ان الطبقة الهيدروكربونية لم تعد تظهر وان المحلول كان قد اصبح اصفر باهتا، يبدو ان شيئا ما كان يحدث، قام بتحليل الماء ووجد ان النتائج توحي بشيء ما ولكنها لم تكن جازمة.

مرة أخرى قام بتكرار التجربة ، وفي هذه المرة رفع ميلر الحرارة حتى جعل الماء يغلي بشدة ، وفيما رأى الماء يقطر من المكثفة علم ان الجهاز كان قد تعمل الضغط الى ان بلغ حالة ثابتة وكان الماء يجري في الدورة بانتظام. ظل التفريغ يندح ويتفرق عبر الشفرة فيما كان الماء المغتلي يسوق أبخرته مع الغازات عبر التفريغ الكهربائي، ووقف ميلر ينظر بارتياح والتجربة تعمل



بالطريقة التي صممت لها في محاكاة الجو البدائي.

ليس بوسعنا ان يفعل أي شيء غير الانتظار ، وتعاقبت الساعات الواحدة تلو الاخرى والشرارة تستمر بالاقتداح وأبخرة الماء والغازات تدور وتدور في الجهاز مفتعلة دورة الماء المتبخر من البهار الى الجو حيث يختلط بالغازات الجوية ويتعرض للعواصف الرعدية ثم يعود في النهاية الى البهار بصفة الامطار . لم يظهر أي تغير ملموس لفترة طويلة ، وتركت التجربة لتستمر طوال الليل.

وفي الصباح التالي عندما دخل ميلر الى المختبر لاحظ في الحال ان الماء قد تغير لونه الى الوردي . اغتمره الحماس واندفع بسرعة الى الجهاز لينظر عن كثب، ثم عندما رأى ان رتيئة التسخين كان لها لفيفة عارية كانت تتوهج حمراء من خلال الماء فترتله، وبتمهل اخفض الرتيئة ونظر الى المحلول في القارورة ، ووجد أن لونه لا يزال ورديا، ان تفاعلا كيميائيا معنا كان قد حصل حتما، رغم كل شيء، وبدأت افكاره تتسابق، هل هذه بورفيرينات؟ porphyrins وهي احدى مجموعات مشتقات البيرول pyrrole الموجودة في السيتوبلازما cytoplasm (أي الحشوة) التي تتحد مع الحديد لتشكل الصبغة الالبروتينية المسماة هيم heme في هيموغلوبين الدم، وتتحد مع المنيسوم لتشكل اليخضور ، أي الكلوروفيل chlorophyll في النبات) ان البورفيرينات تعطي اللون الاحمر للدم . اذن هل يجري انتاج البورفيرينات في هذا التحاكي لاحوال الارض اللاحوية؟

لكنه ترك التجربة تستمر، وتزايدت غمقة اللون ، وبعد انقضاء اسبوع واحد كان الماء في القارورة قد اصبح حتما احمر.

واخيرا حان وقت اختبار النتائج. أوقف ميلر التجربة وترك الجهاز

يبرد، ثم استخرج عينة من القارورة وقام بتحليلها بطريقة الكروماتوغرافيا الورقية (paper chromatography)، وهي الطريقة المعتادة المتبعة في فصل واكتشاف مقادير صغيرة من المادة . بعد انجاز الكروماتوغرام أو الشريط الورقي المتضمن لترتيب الخطوط أو الانطقة الناتج من عملية الفصل، قام برش الشريط ببغرة من محلول النهدرين (ninhydrin) واحماه في الفرن. وفي غضون دقائق بدأت بقع ارجوانية تظهر مشيرة الى المكونات . ان هذه المركبات هي حوامض امينية!

قام ميلر بتحليل عينته ابالفة غراما واحداً بطريقة كروماتوغرافيا التبادل الايوني والكاتيوني $\text{anion} = \text{تيار سالب}$ و $\text{cation} = \text{تيار موجب}$ في التحليل الكهربائي، ثم فلق المكونات بطريقة التحليل التقاطري (fractionation) وعمل مشتقات كيميائية من الحاصل الاكثر غزارة ، وقارن نقاط ذوبانها بتلك الخاصة بالحوامض الامينية المعروفة ، بعد ذلك قام بتعقيم الجهاز برمته وكرر التجربة للتثبت من ان هذه النتائج لم تكن معزوة الى تلوث بكتيري، لكن النتائج لم تدع أي مجال للشك، لقد كانت حوامض امينية بالفعل، ذات المركبات التي تستخدمها النباتات والحيوانات في بروتيناتها^(٤). والآن لم تعد توجد أية معضلة حول كيف تمكنت المتعضيات من انتاج المركبات المضوية قبل وجودها هي بذاتها - فقد كانت اللبنة البنائية موجودة مسبقا على الارض البدائية.

كانت هذه التجربة التي اقتحمت المغالق وشقت الدرب ، كما ان بساطتها والحصيلة العالية من المنتجات ، والمركبات البيولوجية النوعية المنتجة باعداد محدودة في التفاعل، كانت كافية للبرهنة على ان الخطوة الاولى في نشأة الحياة لم تكن مطلقا مصادفة وانما حدثا حتميا كان لا بد من وقوعه . وبالنتيجة كشفت هذه التجربة ان المكونات الاساسية التي منها يتم انشاء



المنظومات البيولوجية (biological systems) هي مركبات لها خاصية امتصاص الطاقة . لذلك فانه مع الخليط الصحيح من الغازات يمكن لأي مصدر طاقة بوسعه تكسير الاربطة الكيميائية (chemical bonds) أن يطلق تفاعلا يفضي الى تكون اللبنات البنائية للحياة^(٥).



الفصل الثاني الارض الاولى

كانت الارض البدائية عارية قاحلة تطلع عليها الشمس بسرعة في كل صباح وتلفحها عبر السماء السوداء بلهب شديد من الاشعاع ما فوق البنفسجي. وكان تراكم الكتل اللامنصهرة من الاتربة والخلائط الفلزية والحجارة التي كونت الكوكب بالاصل، قد تركه أشبه الى حد كبير بوجه القمر الجاف المقفل، وفيما تابعت الشمس مسارها النهاري كانت تمر بسرعة عبر السماء في ظرف ساعات قلائل لتغيب تحت الافق بنفس سرعة طلوعها، اذ في ذلك العالم السقري (Hadean) العديم الهواء والماء كانت فترة قصيرة لا تتجاوز مدة خمس ساعات ليس الا^(١).

ومع حلول الليل كان القمر يطلع بكتلته الرهيبة قريبا من الارض بحيث يبدو انه يكاد يلامس سطحها وهو يبرز من فوق الافق مضيئا وجهها الموحش المجذب بوجهه النير المتوهج الهائل. وفي كل مرة فيما كان يطلع بسرعة كانت جاذبيته تفعل فعلها في اثاره الامواج المدية في اللابا Lava اللزجة المنصهرة المنصبة على سطح الارض من الاندلاعات العديدة. كان القمر يدور مباشرة ما وراء حد روش (Roche's limit) البالغ ٢٨٦ انصاف قطر (radii) أي على بعد من الارض لا يتجاوز أحد عشر ألف ١١٠٠٠ ميل، وأفلت من التحطم بدخوله في منظومة حلقة شبيهة بالحلقة الخارجية الدائرة حول الكوكب زحل على بعد قدره ٢٨٣ امثال طول نصف قطر الكوكب. وتعاقبت الشهور بسرعة فيما التف القمر حول الارض في ظرف ٦٥ ساعة في مسار ينحرف ٤٦ درجة تقريبا عن الاستواء الفلكي.



ومهما بدا قفار الباطن الصخري، فقد تضمنت الارض الباطنية في خلقتها جوهر وجود جديد . كان الكوكب لا يزال في الجوهر كتلة غير متسقة قد تراكت ونمت بدرجة حرارة منخفضة بما يكفي لتمكينها من احتفاظها بالمكونات المتطايرة (Volatile constituents) المخترنة في باطن بنيتها الصخرية . كما كان ايضا محتبسا في باطنها النظائر المشعة لعناصر البوتاسيوم والاورانيوم والثوريوم . ومع مضي الزمن امتصت الصخور الحرارة التي تعذر عليها التبدد والمتولدة من التفكك الاشعاعي لعناصر البوتاسيوم ٤٠، والاورانيوم ٢٣٥ و ٢٣٨، والثوريوم ٢٣٢، وبدأت درجة حرارة هذه الصخور ترتفع . وبعد مضي ملايين من السنين رفعت السخونة المتراكمة درجة الحرارة الى ما فوق نقطة انصهار السيليكات (silicates) وفيما ذابت الصخور أخذت تتمدد فانخفضت كثافتها وخف وزنها واندفعت فازحة الى الاعلى بينما غاصت المواد الاكثر كثافة الى الاسفل . وبالنسبة أدت هذه الآلية الحركية الجديدة الى تسريع عملية التباين الطبقي لباطن الارض المبني على الكثافة ، التي كانت قد ابتدأت اثناء مرحلة التنامي التراكمي .

أدت الحرارة الى تحرير المكونات المتطايرة المحتبسة في الروابط الكيميائية فخلقت هذه بدورها ضغوطا هائلة تحت السطح الصخري الضعيف ، وبمرور الزمن بدأت القشرة الخارجية تمجز عن احتواء غليان الاوار في الباطن فتصدعت وتفتحت في شقوق واخاديد وانتفتحت المتطائرات والمواد المنصهرة الى الخارج في ثورات واندلاعات بركانية وينايع حارة . وتحررت غازات الاوكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكربون المنجمدة منذ عهد بعيد في مؤلفات (combinations) لا متطايرة مع المعادن بمثابة اوكسيدات وهيدرات وتريدات وكرييدات (oxides, hydrates, nitrides, carbides) ، تحررت من العناصر اللاغازية وانتفتحت وترشحت الى السطح حيث بدأت تكون جوا .

وهنا أخذ كل الاوكسجين الطليق يتفاعل بسرعة مع الغازات المنقوصة ليكون الماء، وتآلف الغلاف الغازي الذي بدأ يتشكل حول الكوكب من الهيدروجين والنيروجين وبخار الماء وأول وثاني اوكسيد الكربون وحامضي الكبريت والكلورين. وتحرر الفسفور الملصق بالصخور بمثابة الفلز اباتيت (apatite) بفعل الحرارة الشديدة وانتفت الى السطح مع الارمدة البركانية ليتفاعل بسرعة مع الماء.

وتحت السطح الحار بدأ الرجل يمتخض في تيارات انتقالية عظيمة تحمل الحرارة والمواد الاخف الى أعلى نحو الخارج فتبهط الصهارة الكثيفة من الحديد والنيكل الى الاسفل نحو مركز الارض ، وارتفعت العناصر المشعة الملصقة انتقائيا بالشبيكة البلورية للفلزات الاقل كثافة وتصادت الى السطح. في هذه المرحلة لم تكن توجد اية قشرة متضحة بعد ، انما كان هناك مجرد سطح خارجي للكتلة التي لما تزل تنسق، اما اللب الباطني الذي كان يزداد سخونة بفعل حرارة التفسخ الاشعاعي من الاعلى وضغط الجاذبية الهائل ، فانه بدأ ينمو ويكبر مع نزوح الحديد المنصهر الى الباطن.

لم يكن السطح مستقرا كما هو عليه اليوم بتألفه من مواد أخف وزنا، واستمر في الانهيار والخسوف الى الاسفل ليزيح الصهارة التي تدفقت الى السطح وانصبت عليه في سيول عظيمة من اللابا ، وأخذت الصخور الذائبة التي وصلت الى السطح تتجسأ وتتصلب بشكل البازلت (basalt) الناعم الملمس ، وهو صخر بركاني اسود فحشي الى اربد قاتم في اللون ، بينما تألفت الفلزات الرئيسية من ييروكسين سيليكات الفيرومغنيسيوم (ferromagnesium silicate pyroxene) والبلاجيوكلاز المتضمن للكالسيوم (calcium-bearing plagioclase)

كانت الارض كدسا متجمعا من المواد الصخرية التي كانت أغلب مكوناتها

الفلزية تتألف من سيليكات الحديد ، والالمنيوم ، والمغنيسيوم ، والكلسيوم ، والصوديوم ، والبوتاسيوم . كما كانت اوكسيدات الحديد موجودة ايضا وكذلك الاباتيت ، وهو فلز فوسفات الكلسيوم . شكلت فقط اربعة عناصر ، وهي الحديد والاكسجين والسيليكون والمغنيسيوم ثلاثة وتسعين بالمائة (٩٣٪) من مجموع الوزن ، ونزح أغلب الحديد الى مركز الارض بينما اصبحت السيليكات هي الفلزات الرئيسة للطبقات الخارجية .

ان الصخور النارية، تلك المتبلورة من ذائب السيليكات المسمى بالصهارة (magma) ، هي اقرب تشبيه لمادة الارض البدائية . والصخور يمكن أن تتألف من فلز مفرد مثل الكوارتز SiO_2 ، لكنها في العموم تتكون من مؤتلف من الفلزات تشكل التركيبة والخصائص الملموسة المميزة لها . وعندما تتصلب الصهارة عند السطح أو بالقرب منه يؤدي النمو البطيء لفلزاتها التكوينية الى خلق صخور غائرة أو جوفية (plutonic) التي يشكل صخر الغرانيت (granite) صنفا شائعا منها ، والغرانيت هو واحد من أخف الصخور وزنا ويتضمن سيليكات أو الفلر بنسبة ستة وستين بالمائة (٦٦٪) أو أكثر ، بينما يتضمن صخر البازلت خمسين بالمائة (٥٠٪) ، وتشكل الصخور الاندسيتية (Andesitic) السلسلة الوسيطة .



١/٢ - الفلزات الرئيسية في قشرة الارض

الفلز الوزن بالنسبة المئوية

٦٠.١٨	SiO ₂
١٥.٦١	AL ₂ O ₃
٥.١٧	CaO
٢.٩١	Na ₂ O
٢.٨٨	FeO
٢.٥٦	MgO
٢.١٩	K ₂ O
٢.١٤	Fe ₂ O ₃
١.٠٦	TiO ₂
٠.٣٠	P ₂ O ₅

المصدر : الورقة المهنية ١٢٧ (١٩٧٤) حول المسح الجيولوجي للولايات المتحدة،
للسادة اف دبليو كلارك (F.W. Clarke) وايج اس واشنطن (H.S. Washington)



ظلت الارض حارة ماحلة طوال مئات الملايين من السنين فيما كانت البراكين والثورانات الباطنية تتفجر وتصب أدخنتها وابخرتها السامة بوتائر هائلة. لم تكن توجد أية محيطات، وكان الجو ضئيلا للغاية والسطح مقحلا ومحفرا تخدشه الشقوق والاحاديد والاندلاعات النارية المنبثقة من الباطن. كانت الارض آنذاك تبدو للناظر جذباء ضئيلة المصير ، لكن كميات هائلة من الماء محتبسة في الصخور بشكل هيدرات (hydrates) كانت قد اخذت تتحرر وتنطلق الى الجو وتبقى هناك طالما كان السطح حاراً. وبعد مضي زمن مديد للغاية ، ومع الهواء مشبعاً وسطح الارض آخذ بالبرود وقعت ظاهرة جديدة.

أمطر الجو وتبخر المطر، ثم نزل مزيد من المطر . كان المطر يهتن على السطح الصخري العاري وينخر في الصخور ويتجمع في احواض او منخفضات مستوية عظمى. لكن ذلك لم يكن المطر العذب المألوف لربيع الارض، انما مطر شديد المرارة مفعم بالحوامض الناخرة منتث من احشاء الارض، ومشحون بكبريتيد الهيدروجين، والكربون وكلوريد الهيدروجين. وكانت المتطايرات الرئيسة المنبثقة من البراكين تتألف من الماء وثاني اوكسيد الكربون وكلوريد الهيدروجين بنسبة ٢٠ : ١ : ٣ على التوالي، وتضمن المطر بالتقريب مولارا واحدا من حامض الهيدروكلوريد (Molar : وحدة قياس جزيئية غرامية . ومولار من المحلول يتضمن غراما جزيئيا واحدا بالوزن من المذاب لكل لتر من المحلول).

لكن فيما كانت الامطار حامضية جالبة معها الكلوريد والبروميدي والكبريتيد: وثاني اوكسيد الكربون: كانت الصخور قاعدية بالصوديوم، والبوتاسيوم ، والكلسيوم . كان المطر يذيب الصخور الى نقطة التعادل ، وحيث تبخر الماء كونت الاملاح سهولا ملحية مستوية واسعة.

وفيما استمرت البراكين بتفريغ جوف الارض من الغازات كانت بنفس الوقت تبني الجو وتخلق البحار . كان الجو منقوصا خاليا من الاوكسجين والبحار مجرد احواض تصير ضحلة تتجمع فيها الامطار. لقد تحتم مضي ما يقرب من النفي مليون سنة قبل ان يوجد الاوكسجين بكميات ملموسة ، وجاءت البحار الى الوجود فقط بالتنامي المتواصل عبر العصور من المياه المزاحة من الباطن الصخري للارض .

الجدول ٢/٢ - المواد المتطايرة الموجودة الان على سطح الارض او بالقرب منه والتي لم تنجم عن التعرية الصخرية

المادة المتطايرة	الوزن (١٠ ^{-٢٠} غرام)
الماء	٦٠٠
الكربون بصفة ثاني اوكسيد الكربون	٩١٠
الكبريت	٢٢
النيتروجين	٤٢
الكلورين	٣٠٠
الهيدروجين	١٠
بورون وبرومين وآركون وفلورين الخ	٤

المصدر : مجلة من ديليو ديليو روبي (W.W. Rubey) نشرة الجمعية الجيواوجية الأمريكية ١١٤٧-١١١١ ٦٢ (١٩٥١) .

وفي مستقبل يبعد ألفي مليون سنة من ذلك العصر ستكون المحيطات قد بلغت خصائصها المعروفة اليوم (أنظر جدول الزمن الجيولوجي والتشكيلات الجيولوجية). لكن محيطات الأرض السقراطية تألفت من المحاليل الناشئة عن التصول الحامضي للصخور البازلتية . كان الجو خاليا من الاوكسجين تسود فيه يينات رسوية لا هوائية مع ضغوط لثاني اوكسيد الكربون تبلغ حوالي ١٠-٢٥ جوا، أو عشرة امثال مستواها اليوم (الضغط الجوي الحالي يساوي ١٤ر٦٩ رطلا (lbs) للبوصة المربعة الواحدة) وفي مثل هذه الاحوال كان (يدس) مياه البحر اكثر انخفاضا مما هو عليه في عصرنا هذا، $pH = ٥$ معكوس درجة تركيز ايون الهيدروجين في المحلول، والمحاليل المتعادلة لها $pH = ٧$ ، بينما تكون المحاليل الحامضية في pH من ٧-٠، وقاعدية في pH من ٧ الى ١٤)، وكانت محتوياتها من الكالسيوم اعلى، وربما كانت البحار ايضا مشبعة بالنسبة الى السيليكا أو الظر اللامتبلور او اللاشكلي (amorphous). وبالإضافة الى ايونات أخرى من الصخور البازلتية ، فان الحديد والكبريت المنقوصين كانا يكونان بنسبتهما الموجودتين في الصخور فقط عند تدني pH من التعادل كانت ايونات الألمنيوم تبدأ بالترسب بمثابة الهيدروكسيد وتتحد مع السيليكا لتكوّن سيليكات الألمنيوم العديمة الكاتيون، وطالما كان كلوريد الهيدروجين يتجاوز ثاني اوكسيد الكربون كانت البحار لتبقى متضمنة محتويات عالية من كلوريد الكالسيوم ولم تكن الكربونات (Carbonate) لترسب مثلما فعلت في ازمة لاحقة.

فيما كان الجو يتكون بدأت تحدث تغييرات مهمة ففي المستوى الاعلى كان الاشعاع من الشمس يفصل جزيئات الماء الى هيدروجين واوكسجين، فكان الهيدروجين يتسرب الى الفضاء الخارجي بينما تفاعل الاوكسجين



بسرعة مع الغازات المنقوصة وتحول مرة أخرى الى ماء، واستمر الفصل الضوئي يستهلك بعض الماء على هذا المنوال ، لكن لما كان الماء هو المتطاير الرئيس المندفع الى السطح بفعل الحركة البركانية ، فانه كان يتراكم بوتيرة أسرع بكثير من وتيرة استهلاكه ، وفيما كان ثاني اوكسيد الكربون ينتفث من البراكين الى الاعلى تحددت كميته في الجو بفعل امتصاصه في البحار ، وبهذه الطريقة بقي مستوى ثاني اوكسيد الكربون في الجو منخفضا نسبيا.

لقد ساد الاعتقاد في العصور بأن حرارة الارض ارتفعت الى مرحلة حارة في ذلك الزمن دافعة بالماء والمتطايرات الاخرى الى جو كثيف من حيث كانت تتكاثف وتنزل في زمن لاحق بعدما كانت الارض قد بردت بما يكفي لحصول ذلك. لكن ويليام روبي^(٢) (William Rubey)، الذي قام باجراء دراسة لهذا الامر ، وجد براهين مقنعة باستحالة امكان حصول ذلك مطلقا. انما بدلا من ذلك يبدو انه لم يحصل في أي زمن من تاريخ الارض قط ان وجد في الجو اكثر من مجرد كسر ضئيل من المتطايرات المنتفثة من باطن الارض.

ان كمية ثاني اوكسيد الكربون المطور بشكل كربونات (carbonates) وكربون عضوي في الصخور الرسوبية تبلغ ستمائة ضعف (٦٠٠) أكثر من جميع الكربون الموجود في انطقة (جمع نطاق) الجو البحرية والحياتية والعليا (hydrosphere, biosphere, atmosphere) • ولو كان في الجو مجرد واحد بالمائة (١٪) من ثاني اوكسيد الكربون المحتبس حاليا في الصخور لكان مستوى ^{٣٥} في البحار بأحجامها اليوم قد انخفض من ٨٢ الى ٥٩.

تبين ان للتوازن بين ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الجو وذلك المصوص في البحار أهمية عظمى للغاية ، وذلك لأن ثاني اوكسيد الكربون

الموجود في الجو يخلق ما يسمى بظاهرة المستتبت الاخضر . اذ، كالزجاج في المستتبت الاخضر ، ان ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الجو شفاف للضوء المرئي ولكنه يمتص الاشعة دون الحمراء المولدة للحرارة . وعندما يمتص سطح الارض الضوء الساطع عليه من الشمس تقوم المواد الصلبة الساخنة فيه بإعادة بث قدر كبير من هذه الطاقة بشكل اشعاع دون الحمراء غير مرئي . فاذا كان مستوى ثاني اوكسيد الكربون في جو الارض عالياً فوق العادة فانه سيجري إعادة امتصاص هذه الطاقة في الهواء بدلاً من انبثائها الى الفضاء الخارجي ، وهذا يؤدي الى ارتفاع حرارة الارض . انما بامتصاص ثاني اوكسيد الكربون والحفاظ على مستوى تركيزه في الجو منخفضاً (حوالي ٠.٠٣٤٪ - اربع وعشرون من الالف بالمائة - اليوم) قد تمكنت البحار من ضبط ظاهرة المستتبت الاخضر على الارض .

لم تكن توجد اية قارات على الارض السقوية ، وتألفت القشرة فقط من السطح الخارجي للغلاف ، ولم تكن العناصر المشعة قد تركزت بعد في القشرة او الغلاف الاعلى مثلما هي عليه اليوم ، وانما كانت منتشرة في جميع انحاء الغلاف غير المتباينة . مع ذلك ، كانت الحرارة المتراكمة من النوياتيدات (nucleotides) على مر مئات الملايين من السنين تقوم بخلق الارض الى طبقات متداخلة متراكزة ، وفيما نزلت العناصر المشعة نحو الاعلى الى القشرة الخارجية ، حملت معها قدرتها على انتاج الحرارة اقرب الى السطح ، وكانت الصحارة لتتركز في طبقة انتقالية تحت السطح مثلما هي اليوم بين القشرة والغلاف الخارجي .

ولابد انه في أواخر الازمنة السقوية كان تراكم الحرارة المتولدة عن الاشعاع والذوبان الجزئي للغلاف ، وانتقال الحرارة الى الاعلى في الصحارة ، قد بلغ نسبة ذروية اسفرت عن تعرض القشرة الاصلية الى تحورات في انحاء

مختلفة من الكرة الارضية ، كما ان غوص الصخور النارية وبروز اللابا شوه السطح وعجل بالتآكل فتكونت بذلك الصخور الرسوبية الاولى .

ربما لم يكن قد حان الوقت بعد لتكون الصخور البلورية الحقيقية ولم تقع في هذا الزمن عملية انتشار او اتساع القيعان البحرية التي تنفصل معها اللواح القشرية بفعل انجاس الصحارة ، ولم يكن قد حصل بعد التباين الثابت الدائم للاغلفة التي كانت متجانسة مبدئيا ، انما تميز انقضاء الدهر السقري بانفراج التراككات الحرارية في سيول عظمى من اللابا المنتفخة من البراكين على سطح الارض وتحت مياه البحار النامية . كانت تلك نهاية أول دهر طويل في تاريخ الارض، وهو الدهر الذي شهد تولد جو وبحار الارض، ودام ثمانمائة مليون سنة .

خلال الثلاثة آلاف وثمانمائة مليون سنة التي تلت كانت الصخور المتبلورة من الصحارة في ذلك المشهد البدائي تلعب دورا بالغ الاهمية في العلوم . في عام ١٩٦٦ بدأ فيك ماكجريجر (Vic McGregor) ، وهو خبير جيولوجي شاب من نيوزيلندا يعمل مع فرقة المسح الجيولوجي لغرينلند ، برسم خرائط تفصيلية للمنطقة الجبلية حول فيورد باسم امرليك (Amerlik) على الساحل قرب العاصمة غوتهاب . لم تكن هذه مهمة هينة . فان التنويع العظمى للصخور وترتيباتها المتشابكة جعلت عملية تفسير التاريخ الجيولوجي امرا عسيرا . لكن بعد عدة سنين بدأ ماكجريجر بتنفيذ سياق متميز من الاحداث التي كانت قد تعاقبت على مر العصور . كانت الصخور التي تم تمييزها بكونها الاقدم في تلك المنطقة هي صخور نايس اميستوك (Amistok Gneiss) ، وهي صخور نارية قد تعرضت للاستحالة الشكلية (metamorphosis) والتشوه بفعل قوى جبارة تفعل فعلها على القشرة الارضية . وبحسب تفسير ماكجريجر ينبغي أن توجد صخور كانت قد تكونت حتى قبل صخور نايس اميستوك .

انضم ستيفان موربات (Stephan Moorbath) من اكسفورد الى ماكجريجر في صيف ١٩٧١، وبدأ الخيران الجيولوجيان بتجميع عينات صخرية لارسالها الى انكلترا لمقايسة اعمارها بطريقة النظائر المشعة. وفي ايسوا (Isua) وهي منطقة جبلية تقع على بعد ستين ميلا شمال غرب غوتهاب مباشرة عند حافة الصفيحة الجليدية الداخلية العظمى، كانت شركة للتعدين تقوم بالتنقيب في رسوبات ضخمة من خامات الحديد ، وهي جزء من قوس عظيم من الصخور البركانية والرسوبية الشديدة الاستحالة يبلغ قطره ما بين سبعة الى خمسة عشر ميلا وبسماكة تبلغ ١٨ ميل. عندما وصل ماكجريجر وموربات الى الموقع رأيا ان القوس الصخري كان فوق القشرة ، أي انه كان منبسطا على سطح ومخفوقا بصخور نايس الغرائتية مع حافات تلامس مقصوفة ومشوهة.

تم جمع عينات وارسالها الى اكسفورد للمقايسة بالروبيديوم - السترونشيوم (rubidium-strontium) والاورانيوم - الرصاص (uranium-lead) لتحديد اعمارها ، وعندما ظهرت النتائج في النهاية وجد ان عمر الصخور كان يبلغ (٣٧٦٠) ثلاثة آلاف وسبعمئة وستين مليون سنة ، وعلم ماكجريجر وموربات ان في ذلك المرتفع الموحش المقفر من الارض في الدائرة القطبية الشمالية قرب الصفيحة الجليدية العظمى حيث الصخور مكشوفة عارية بأجمعها، انها كانا يمشيان على جزء مما ربما كان القشرة القارية الاصلية للارض (٣).

طوال فترة الدهر السقري كانت الحرارة ترشح الى السطح المواد المتطايرة الملصقة بالصخور ، ومهما تكون نطاق بحري ونطاق جوي بدائيان ، وبحلول زمن تكون تشكيلة ايسوا الحديدية قبل ثلاثة آلاف وسبعمئة وستين مليون سنة ، كان قد تكون على السطح ما يكفي من الماء لحصول

الامطار والتآكل والترسبات • وبانقضاء الدهر السقري دخلت الارض في الدهر الاركي.

لابد ان الرشح الاول من الدهر الاركي او العتيق كان فترة التثام وترسخ عقب الانفجارات والاندلاعات البركانية العظمى التي اختتمت الدهر السقري • كان التآكل يحد ويفتت الجبال البركانية على مر مئات الملايين من السنين ويودع طبقات سميكة من الرواسب على هوامشها • وفيما كان السطح يتعرض للتعرية استمرت حرارة التحلل الاشعاعي في جوف الارض بالتراكم على نطاق واسع في جميع انحاء العالم طوال الحقبة التالية.

ثم في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة حين كانت المحيطات تكسو سطح الارض بطبقة رقيقة ، تعرضت الارض لحقبة أخرى من التكون القشري • اذ بعدما انفجر الاتون الجوفي تفترت القشرة الى شقوق وشقوق عظيمة وأدت الصحارة الذائبة الى تقوض الاقسام المتلاصقة من القشرة وانفكاكها عن الغلاف العلوي وانزلاقها على طبقة من الصخور الذائبة في الفاصل البيني • لم تكن هذه التحركات كبيرة ، انما مجرد بقدر سنتمتر واحد او حواليه بالسنة ، لكنها كانت ، على مر الملايين من السنين ، كافية لترغم سطح الارض ليفقد هذه الزيادة في قشرته ويحيلها بطريقة ما الى اماكن أخرى • فقد انشطرت القشرة في اماكن أخرى للتنفيس عن الضغط المتزايد وبدأ الجزء تحت الضغط ينزلق فوق الجزء المجاور ويدفع معه حافة الفلج في باطن الغلاف تحته •

وفيما غاص السطح المزاح أعرق في الغلاف أخذ يذوب بفعل الحرارة الجوفية الشديدة فتصاعدت الصخور الاخف الغنية بالسيليكا الى أعلى بينما هبطت الصخور الحديد ومغنيسية (ferromagnesian) الى الاسفل • وحيث انزلت احدى حافات السطح تحت الأخرى تتج عن ذلك خندق عميق برزت

بالتوازي معه المواد السطحية المزاحة وارتفعت الى السطح بشكل صهارة
مكونة قوسا من الجزر البركانية • ولا بد ان هذه الاقواس الجزائرية ظهرت
في عدد من الاماكن على وجه الارض.

ان الصهارة المندلعة في شقوق واخاديد قشرة الارض والتي صبت
كميات هائلة من اللابا أصبحت فيما بعد الصخور القاعية للدروع القارية ،
ورغم ان هذه الصخور الاساسية تبلغ من العمر ثلاثة آلاف مليون سنة ،
وهي مطوية ومستحالة الشكل، فانه يمكن مشاهدتها كتعاقبات طويلة من
اللابا الوسادية يبلغ سمكها اميالا عديدة وتكونت بالتبريد السريع بفعل
انبثاقها تحت الماء. وتوجد أدلة على ان هذه الاحزمة المعروفة بأحزمة الحجارة
الخضراء بسبب مسحتها اللونية الخضراء من الكلوريت (chlorite)
والهوربلند (hornblende) والاييدوت (epidote) ربما كانت مناطق قشرية
انخفضت الى الاسفل بعمق ستة الى تسعة اميال بينما كانت الصخور
والترسبات البركانية تتراكم طبقة فوق طبقة على مر زمن مديد.

لا يوجد مثل معاصر للصخور في أحزمة الحجارة الخضراء بين المناطق
البركانية النشطة المعاصرة رغم انها تبدي بعض الشبه بأقواس جزائرية
حالية مثل جزر الكوريل في شمل اليابان وجزر ألوشان الجنوبية الغربية.
في الاغلب تتألف الصخور المحيطة بأحزمة الحجارة الخضراء من صخور
الغرانيت ، والعديد من المناطق الاركية يتألف من تعاقبات بركانية قائمة
الغور شديدة الانطواء محصورة بين كتل غرانيتية • لا يزال توزيع الماء
واليابسة في الدهر الاركي غير معروف جيدا، انما الترسبات والصخور
البركانية كانت تتراكم تحت الماء.

لذلك ربما كانت الاقواس الجزائرية كما تبدو عليه اليوم، مرحلة



وسبطة تطورية مهمة بين القشرة البحرية والقشرة القارية . وفيما ان القشرة البحرية بازلتية وتمثل سطح الغلاف فان القشرة القارية غرائتية في معظمها واكثر سماكة انما اقل كثافة ، أما الاقواس الجزائرية فهي من مواد قشرية اكثر سماكة من القشرة البحرية ولكن ليس بسماكة القشرة القارية وتتألف من صخور مشتركة في القشرتين .

حصلت مرحلة أخرى للتطور القشري في حوالي اواخر الدهر الاركي . ففما انزلت قشرات بحرية تحت الالواح الفوقية المتراكبة ، ارتفعت الصخور الذائبة المزاحة بفعل طفوها وانتقلت الى اماكن ملائمة لها على هوامش الاقواس البركانية ، واحيانا كانت الصحارة تبرز فوق القشرة وتصب عليها تعاقبات كثيفة من الصخور البركانية ، لكنها في الاغلب كانت تبقى غائرة حتى المرحلة الاخيرة من نشوء الجبال . استمرت نشأة الجبال على مدى مئات الملايين من السنين، ثم عندما ضعف الضغط الحاصر فوق الكتلة الغائرة دفعها طفوها الى الاعلى كالفلينة من خلال القشرة في المرحلة الاخيرة الباهرة من نشأة الجبال .





الشكل ١/٢ - نمو أمريكا الشمالية . تشير الأرقام إلى أعمار صخور الرصيف
القاري بالآلاف الملايين من السنين .



وبهذه الطريقة نمت القارات خطوة فخطوة من نواتها الغرائبية ، بتراكم المواد الاخف المفلوكة من الغلاف على هوامشها، وعلى ما يظهر تمت كل عملية نشأة الجبال في غضون ستة أو سبعة أحقاب على مدى تاريخ الارض ، امد كل حقبة منها حوالي ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنة.

أدى اندفاع الجبال على هوامش أحزمة الحجارة الخضراء الى تشوه الصخور واستحالتها بشدة، وخلق انخساف الاحزمة سهولا منخفضة تعرف باسم الدروع القارية (continental shield) وهذه هي المجنات (cratous) او النويات (nuclei) التي نمت منها القارات عبر الاحقاب المتعاقبة لنشأة الجبال . والدروع الكندي اكبر هذه الملامح ويحتم كصحن عملاق يحمل في وسطه خليج هدسون . اما الجبال فقد زالت الآن ، بعدما تفتت واندثرت حتى الجذور منذ زمن بعيد ، لكن المنطقة لا تزال باقية بمثابة مستودع فسيح للقرارات الفلزية (mineral deposits)

ان أحزمة الحجارة الخضراء المؤرخة بين ما قبل ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة الى ألفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة هي أقدم احزمة الصخور المستحالة والمشوهة . ومنذ ما قبل حوالي الفين وسبعمئة (٢٧٠٠) مليون سنة فصاعدا أخذت أحواض رسوية فردية تتكون من تحات الجبال العتيقة ، وربما ان المجنات التي كانت القارات تنمو عليها كانت تؤلف نسبة خمسة الى عشرة بالمائة (٥-١٠٪) من المساحة القارية الحالية قبل ثلاثة آلاف وثمانمائة (٣٨٠٠) مليون سنة ، لكن مساحتها أخذت تنمو ما بين الفترة ما قبل الفين وتسعمئة (٢٩٠٠) مليون سنة والفين وخمسمئة (٢٥٠٠) مليون سنة خلت الى ان بلغت نسبة خمسين الى ستين بالمائة (٥٠-٦٠٪) من المساحة الحالية. كانت قشرة الارض قد توطدت واستقرت بما يكفي قبل الفين وسبعمئة (٢٧٠٠) مليون سنة لتييح للرسوبات لتتراكم في أحواض

كبرى دون أن تتغير الضغوط اللاحقة.

كان الجو لا يزال من دون أوكسجين اثناء فترة الدهر الاركي، ولكنه تضمن النيتروجين وربما كان محتواه من ثاني أوكسيد الكربون ما بين أربعة الى عشرة (٤-١٠) أضعف كميته اليوم وحافظ على الجو السفلي مرتفع الحرارة للغاية. وبحسب الخبيرين الجيولوجيين بول كنوث (L. Paul Knauth) وصموئيل ابستين (Samuel Epstein) ^(٤) في الدراسات التي أجريها في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا باستعمال التحليل النظائري لست وستين (٦٦) عينة من الصوان (chert) مأخوذة من اواسط وغرب الولايات المتحدة، كان معدل درجة حرارة جو الارض قبل ثلاثة آلاف مليون سنة ربما لا يقل عن (٧٠°) مئوية. وهذه النتائج مبنية على قياس الوفرة النسبية لنظائر الاوكسجين والهيدروجين في ماء امالة الخلائط الصوانية من عصور جيولوجية ماضية مختلفة. وتشير البيانات الى ان درجات الحرارة المناخية، مع بعض التقلبات، كانت لا تزال عموما في الهبوط منذ ذلك الزمن.

دام الدهر الاركي الى ما قبل الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) مليون سنة، وعند انتهائه كانت القشرة مستقرة بما يكفي لتستوعب مصاطب أو ارصعة ثقيلة من الرواسب وصلبة بما يكفي لتحمل اقتحامات الصحارة، ومنذئذ فصاعدا يصبح العمود الجيولوجي خصائصا من الرواسب الثابتية (cratonal) مستودعة في هوامش قارية مغمورة.

وباتهاء الدهر الاركي حل الدهر البروتيروزوي، وهو زمن طلائع الاحياء وامتد ما يقرب من الفين (٢٠٠٠) مليون سنة منتهيا عند زمن يقع ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة، ومن هنا يبدأ الحقب الكسبري (Cambrian)، والاحافير (fossils)



الفصل الثالث

الحياة في الازمنة السابقة لما قبل الحقبة الكامبرية

منذ أوائل القرن الماضي والخبراء الجيولوجيون دائبون بهمة متواصلة على وضع تاريخ للطبقات الجيولوجية الأرضية بحسب تعاقبها الزمني الصحيح، وفيما اتسعت علومهم اكتشفوا ان مجموعات فريدة من الحيوان تنتمي الى فترات معينة من الزمن دون سواها ، وبمكاملة الصخور الرسوبية في جميع انحاء العالم وترتيبها وفق سياقها النظامي مبني على التعاقب الحيواني تمكنوا من انشاء عمود من الاحافير عبر التتابع الزمني للتكوين الجيولوجي للأرض.

كان الجيولوجي الانكليزي آدم سيجويك (Adam Sedgwick) اول من استعمل الاسم باليوزوي paleozoic : او الاجائي الخاص بأحافير احياء الدهور العتيقة في محاضرة له القاها في عام ١٨٣٨ للدلالة على الدهر في التاريخ الجيولوجي الذي ابتدأت الحياة بالتمخض فيه اعتبارا من أول الاحافير بما فيها من النباتات البرية والحيوانات البرمائية وأقدم الزواحف، وسرعان ما تبع ذلك ورود عبارة الميسوزوي أو الدهر الاجائي الوسيط (mesozoic) الذي شمل حيوانات الدينوصور والزواحف البحرية والطيارة، وتلت عبارة السينوزوي (Cenozoic) كناية عن الدهر الحديث، من ثم جرى تقسيم الدهور الباليوزوي والميسوزوي والسينوزوي الى أحقاب جزئية وأطلق اسم الحقبة الكامبرية (Cambrian Period) لتبديء مع اول ظهور الاحافير قبل خمسمائة وسبعين مليون سنة من عصرنا الحاضر ، وأتبع بأحقاب جيولوجية تعاقبية يتسم كل منها بالاحافير الموجودة فيه.

رغم ان السجل الاحفوري متشظ في بعض الاحوال فانه يوافينا بشهادة واضحة على مبدأ النشوء التطوري، وفي العديد من الخطوط السلافية يمكن رسم التعاقب التسلسلي بتفاصيل في غاية الدقة . ان الاحافير الاكثر عتاقة من الحقبة الكمبرية تشتمل فقط على اللافقریات، ثم تظهر في وقت لاحق فقریات شبيهة الى حد ما بالاسماك تلتئم تدريجيا بالتعاقب لتصبح اسماكا حقيقية، يلي ذلك أحافير الحيوانات البرمائية والزواحف وأخيرا الاطيّار والثدييات . من الواضح ان التسابع الزمني يرتبط بعلاقة متبادلة بأبسط اشكال الحيوانات التي تظهر في أقدم الطبقات الجيولوجية ويتصاعد في تعقيد متزايد الى وقت متأخر من التاريخ الجيولوجي .

واذ ندرس الآثار الاحفورية نجد أن طائفة حيوانات أو احياء الحقبة الكمبرية تتضمن نماذج من كل شعبة لا فقرية هامة لكن المجموعتين الاكثر غزارة والاسع انتشارا هما الثلاثيات الفصوص (trilobites) والعضديات الارجل (brachiopods)، تقريبا خمسة وسبعون بالمائة (٧٥٪) من جميع الاحافير المكتشفة في الحقب الكمبري تتألف من الثلاثيات الفصوص . وقد تباينت هذه المفصليات (arthropods) التي تنتسب عن بعد الى السرطان الحدوي الحديث (horseshoe crab) في الحجم من قدر ربع بوصة (¼ انج) الى ما يناهز قدمين اثنتين وكانت تقف على المتعضيات المجهرية في البحار وعلى الركام القاعي، غير اننا هنا نصل الى حلقة مفقودة ، اذ لا توجد اية آثار لأية أحافير فقرية أو أية نباتات او حيوانات في البر او في المياه العذبة طوال فترة السبعين (٧٠) مليون سنة التالية من الحقبة الكمبرية، أي ما قبل ٥٧٠ الى ٥٠٠ مليون سنة مضت .

لقد شكل الظهور المفاجيء لطائفة حيوان الحقبة الكمبرية مسألة بيولوجية كبرى . فالمعضيات المكتشفة في هذه الحقب تؤلف أشكالا حياتية

ذات أعضاء وخواص معقدة ومتطورة كذلك التي لدى بعض ما نجده في يومنا هذا. فضلا عن ذلك، ولزيادة المسألة غموضا ، نجد أن جميع الشعب (أي التقسيمات المبنية على ملامح تشريحية أساسية) المعروفة اليوم موجودة في الأحافير الكمبرية. وذلك جميعها ما عدا شعبة واحدة هي الحبليات (chordata) التي تؤلف شعبة الفقريات، والتي لم تظهر إلا قبل حوالي أربع مائة وخمسين (٤٥٠) مليون سنة خلت. إن الشعب التي كانت موجودة ظهرت بسرعة دون أي أصل ظاهر . وبالإضافة ، لقد تضمنت اعتق المراقدين الكمبرية ذات البقايا الهيكلية عديدا من مجموعات الثلاثة الفصوص والعضدية الأرجل والرخويات Mollusks والشوكيات (Echinoderms) ونماذج من شعب أخرى بلغت في مجموعها نحو عشرين (٢٠) نوعا متميزا ، لكن لم تكن توجد أية دلالة على انتمائها سلايا إلى أصل مشترك ، وبقي أمر منشأ نباتات وحيوانات الحقب الكمبرية سرا دفيناً.

ثم في عام ١٩٤٧ فيما كان ريجنالد سبرينغ (Reginald Sprigg) ، وهو جيولوجي أسترالي، ينقب في تلال أيدياكارا ، وهي منطقة مناجم مهجورة تبعد عن مدينة أديليد بمسافة ٣٨٠ ميلا شمالا، اكتشف بقايا أحفورية غزيرة بالسلك الهلامي (Jellyfish) في الطبقات العليا من الكوارتزيت (quartzites)* للوهلة الأولى اعتقد سبرينغ انها تعود إلى الحقبة الكمبرية السفلية، إلا أن مزيدا من التفحص أثبت انها تعود إلى زمن متأخر من الدهر البروتيروزوي. جرى تجميع ما يقرب من ١٥٠٠ عينة أحفورية من تلك الطبقات الأرضية ، تألف ثلثها من مخططات تتم عن خصائص الجرس السباح لرئة البحر اللااحشائية (swimming of the coelenterate medus) ، وما يقرب من ربعها من ديدان حلقية (annelid worms) ، والباقي من متعضيات لا فقرية منقرضة^(١).

كانت تركيبة الطائفة من قبيل البيئة البحرية ، وبينت الدراسات للرواسب



الحاوية لها استبداءها في مياه ضحلة، اذ ربما ان المخلوقات شبه الدودية عاشت في مياه ضحلة حيث كانت تنحرب في الطين او تقنات على السطح، بينما لا يستبعد أن تكون رئة البحر اللاحشوية قد ضلت الى هناك من عرض البحار، ولم تظهر بينها أية علامات للافتراس كمثل تمزيق ابدان كبيرة.

وقد جرى اكتشاف بعض افراد طائفة ايدياكارا في أماكن أخرى، فقد اكتشف تريفور فورد (Trevor Ford) الشارنيا (Charnia) في انكلترا في صخور بروتيروزوية وبعمق يبلغ ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة، كما تم اكتشاف أحفورة شديدة الشبه بالشارنيا في مرتفعات اولنك (Olenck) في شمال سيبيريا في صخور أرخت في ما قبل ستمائة وخمسة وسبعين (٦٧٥) مليون سنة مضت.

كانت أحافير العديد من حيوانات الحقة الكمبرية لا فقرة ذوات هياكل متفلزة (mineralised) . لكن هذه المتعضيات لم تظهر مطلقا في أحافير ايدياكارا التي افرزت بصمات لحيوانات لينة الابدان أو مسالك وآثار للافقریات العديمة الاجزاء الصلبة . وعلى ما يبدو كان هناك فترة زمنية امتدت ربما مائة (١٠٠) مليون سنة ازدهرت خلالها حيوانات لينة الابدان في البحار ، وبقدر ما هو موجود اليوم، قبل النشوء التطوري للاصناف والهياكل المتفلزة.

ان أهمية طائفة ايدياكارا تكمن في أن الحيوانات تنتمي الى مستوى ايسط في التطور من مستوى الشعب المكتشفة في الحقة الكمبرية، وهذه الحيوانات لا حشوية وتمثلها اليوم الاسماك الهلامية وشقائق البحر (anemones) والمرجان (corals) واللاحشويات هي حيوانات متعددة الخلايا في المستوى النسيجي من البناء، وهذا يعني في العموم انها عديمة الاعضاء.



والحيوانات متعددة الخلايا الوحيدة التي هي أبسط شكلا من اللاحشويات هي الاسفنجيات (sponges) ، وهي حيوانات بدائية ينقصها الانتظام النسيجي الواضح وتبدي علاقات مماثلة مع بعض اصناف مستوطنات الاوليات الاحادية او المتماثلة الخلايا (protozoa) ، وكلاهما تنقصه الاطراف التكاملية والقمم والاجهزة الهضمية ، وكلاهما يملك صنفا من التكوين الهيكلي الذي ينتج عناصر فردية أما بواسطة خلية مفردة أو مجموعة خلايا متماثلة . والاسفنجيات ليست جيدة الحفظ كأحافير، ألا انه قد تم العثور على عينات منها تعود الى الحقبة الكمبرية.

لقد أرجعت قياسات الطبقات حاملة الاحافير عمر الحياة الى ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة ، أي الى بداية الحقبة الكمبرية ومددت أحافير ايدياكارا هذا العمر الى ما قبل ستمائة وثمانين (٦٨٠) مليون سنة خلت. غير ان الطبقات الارضية ليست كلها واقعة في تعاقب وحيد متصل في أي مكان من الارض، ولو جرى تكديس كل الطبقات العليا لجميع العصور اعتبارا من أعنتق الاحافير تكديسا رأسيا فان ارتفاع العمود سيبلغ ما يقرب من اربعمائة الف قدم أو ستة وسبعين (٧٦) ميلا!

مع ذلك، فقد كان واضحا ان الآثار الاحفورية انتقصت بشكل خطير من عمر الارض. فتحت الكمبرية تقع التشكيلات ما قبل الكمبرية ، وهذه تتألف من طبقات من الصخور البركانية والرسوبية ذوات سماكة هائلة، تضم فترة زمنية تربو على ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، أي خمسة (٥) اضعاف الزمن منذ أعنتق الاحافير . فما الذي حصل اثناء تلك الفترة الزمنية الرهيبة المديدة الى حد اللامعقول والمثلة لما يقرب من خمسة وثمانين بالمائة (٨٥٪) من تاريخ الارض قبل ان تبدأ الشعب الكمبرية باستيطان الارض؟ ان السماكة الهائلة للطبقات الكمبرية تشهد على مضي الملايين اثر



الملايين من السنين وجدت الحياة أثناءها فقط على مستوى الاسفنج والسلك الهلامي والثلاثية الفصوص . توجد في جبال اينيو بكاليفورنيا طبقات تمتد الى عمق أربعة عشر ألف (١٤٠٠٠) قدم او ثلاثة (٣) اميال تتضمن ثلاثيات الفصوص والاركيوسياثيدات (archaeocyathids) وهذه هي صنف من الاسفنج الطباشيري المنقرض . مع ذلك، هذا العمق لا يمتد الى الحديت ظهرت الحياة أول ما ظهرت . كما توجد أدلة ملموسة على وجود المتعضيات الحية على الارض بزمان طويل جدا قبل حلول الحقبة الكمبرية .

ان اكتشاف أحافير ايدياكارا وغيرها التي عثر عليها تحت طبقات الحقب الكمبري الذي بدأ قبل خمسمائة وسبعين مليون سنة مضت ادى الى اقتصار تعريف الصخور الكمبرية في الطبقات الحاوية أحافير نقر بأنها تتضمن خصائص كمبرية . وفيما أجري مزيد من المسوحات الجيولوجية ، أصبح واضحا ان الاحافير الكمبرية انبثقت من آثار امتدت الى أعماق احقاب سابقة . فقد اكتشفت في المغرب طبقات تحمل الاسفنج الطباشيري تمتد الى عمق ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) قدم تقع تحت أعماق الطبقات الكمبرية ، وهذه بدورها ترتكز على صخور جيرية (limestone) تبلغ سماكتها عشرة آلاف (١٠٠٠٠) قدم وتتضمن البقايا العتيقة من بسكويت الماء (water biscuits) وهي كتل طباشيرية تحوي حصرانا وعناقيد من آثار أحفورية ذوات الرقائق المتداخلة مركزيا والتي نمت في مياه ضحلة .

والاحافير الاكثر انتشارا وغزارة في ما قبل الحقبة الكمبرية هي البنى الملفوفية الشكل (cabbage-shaped) أو الطبقة التورق او التفرع المسماة بالستروماتوليت (stromatolites) ، وتكون في العموم من الحجر الجيري أو من الدولوميت (dolomite = كربونات الكلسيوم والمغنيسيوم البلورية)، الا انها في بعض الاحوال تتألف من مادة ظرائية او سيلكونية (siliceous)



ربما تكونت الستروماتوليات في بيئة ما بين مدية (intertidal) بنفس الطريقة التي تتكون بها اليوم بفعل السيانوبكتيريا (cyanobacteria) أو الطحالب الخضراء زرقاوية (algae) . ان العديد من هذه الاحافير نصف الكروية صغير بحجم زر الثوب، لكن هناك أخرى تبلغ مساحتها آلاف الاقدام ، والقبة الستروماتولائية العملاقة في سلسلة الحزام بالقرب من منطقة هلينا بولاية مونتانا في الولايات المتحدة تبلغ حتى خمسة عشر (١٥) قدما في سماكتها وتمتد الى مساحة آلاف الاقدام^(٢).

رغم ان الستروماتوليات تكونت بأغزر وفرتها اثناء الدهر البروتيروزوي الطويل فان ظهورها الى الوجود يرجع في الحقيقة الى الدهر الاركي، حيث العثور عليها في تشكيلة بونغولا الافريقية (Pongola Formation) المؤرخة في في حوالي ما قبل ثلاثة آلاف مليون سنة، وهذه مثل أغلب الستروماتوليات الاحفورية، لا تتضمن اية تفاصيل خلوية ، مع ذلك، فهي تشبه بنى الصنف الذي يتكون في يومنا هذا في جزر البهاما وفي خليج شارك بفرب اوستراليا^(٣)، وقد تم الحصول على تفاصيل خلوية مجهرية من ستروماتوليات جيدة الحفظ، مع العلم انه لا توجد طرائق لا عضوية معروفة من شأنها تشكيل مثل هذه البنى.

وليست الستروماتوليات الدليل الوحيد على حتمية امتداد سلالة السيانوبكتيريا الى أصل سحيق للغاية في القدم، فان الاوكسجين بذاته دليل آخر على ذلك، ان احتواء جو الارض على الاوكسجين بنسبة واحد وعشرين بالمائة (٢١٪) يشكل شذوذا في كون يتألف بنسبة خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين . لقد خلقت عملية التمثيل الضوئي المحررة للاوكسجين جوا مؤكسدا رفع جميع الحياة الى وضع غير مستقر ديناميحراريا (Thermo-dynamically).



ان تأكسد المركبات العضوية تفاعل تلقائي . ومعنى هذا هو ان جميع المدة البيولوجية - من دون اعداد متواصل من الطاقة - ستؤول في النهاية الى الحالة المتأكسدة لثاني أوكسيد الكربون والماء . وتستديم هذه الحالة اللامستقرة بفعل امتصاص الطاقة من ضوء الشمس لاختزال ثاني أوكسيد الكربون وتحرير الاوكسجين الذي تقوم طحالب العوالق البحرية (planktonic algae) بتوليد نسبة تسعين بالمائة (٩٠٪) منه . وتدلل التقديرات على انه لو توقفت عملية التمثيل الضوئي اليوم فان جميع الاوكسجين الموجود في الجو سيتلاشى في بحر مجرد الفي (٢٠٠٠) سنة بفعل امتصاصه في الصخور غير المشبعة بالنسبة الى الاوكسجين^(٤) .

بالرغم من فقدان الارض لهيدروجينها الجوي البدائي فان الجو الذي تكون من انبثاق الغازات الباطنية كان ايضا منقوصا وخاليا من الاوكسجين الطليق بالمرّة ، ولا بد ان المتعضيات المستثملة للضوء استغرقت زمنا طويلا جدا لأكسدة مكونات نطاقي الجو البحري والعلوي قبل امكان تراكم الاوكسجين الجوي الطليق . انما توجد ادلة جيولوجية على أن الاوكسجين الطليق بدأ يتراكم في الجو منذ ما قبل الفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت . خلال الفترة الواقعة بين ما قبل الفين وثلاثمائة (٢٣٠٠) مليون سنة والفي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت حصلت آخر واقعة ظاهرة للتواجد الغزير لفليز البيريت (pyrite) والاورانيت (Uranite)^(٥) الحتاتين السهلي التأكسد ، ولو تضمن الجو آنذاك مستويات ملموسة من الاوكسجين لكان هذان الفلزان اللذان تفتتا من الصخور وتطائرا مسافات شاسعة قد تأكسدا قبل استقرارهما في الرواسب . وحقيقة عدم وجودهما في رواسب لاحقة كقارات (deposits) حتاتية بغزارة توحي بأن الاوكسجين الجوي كان قد ابتدأ يتراكم في هذا الزمن .

وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والـف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت حصلت آخر مرحلة لترسب التشكيلات الحديدية المخططة (banded iron formation) وأعظمها حجما على الإطلاق^(٦). لقد ساعدت الاحوال الاختزالية السائدة في الدهر الاركي وأوائل الدهر البروتيروزي على تكون الفلزات المحتوية للحديد الثنائي التكافؤ (ferrous iron) من تغير الصخور البازلتية . والفلزات المميزة الموجودة في التشكيلات الحديدية هي السيدريت (siderite) وهو كربونات الحديد (iron carbonate) ، والغريناليت (greenalite) وهو سيليكات الحديد (iron silicate) ، والبيريت وهو كبريتيد الحديد (iron sulfide) ، مترجة بحجر الصوان الخام (chert) وهذا بالاصل هو الطر أو السيليكا اللاشكلي (amorphous) . لكن كثيرا ان لم يكن الاغلب من تشكيلات الحديد كانت احيائية التكون . ان أملاح الحديد الثنائية التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا ، بينما الحديد المؤكسد غير قابل للذوبان . وقد أدى تحرير الاوكسجين من قبل المتعضيات المستثملة للضوء الى تأكسد الحديد الثنائي التكافؤ وأسفر عن قرارات من الحديد المترسب او المتساقط (precipitated) وأصبحت هذه تشكيلات حديدية مخططة ، وهي صخور فريدة تتألف من طبقات متناوبة من السيليكا الغني بالحديد والسيليكا الفث الحديد تمثل بالتعاقب رواسب متساقطة مخططة .

ليس من المؤكد فيما اذا كانت مناطق الحديد الصواني في تشكيلة ايسوا الواقعة في غرينلند^(٧) البالغة من العمر ثلاثة آلاف وسبعمائة وستين (٣٧٦٠) مليون سنة او مجموعة الانفرواكت الافريقية البالغة من العمر ثلاثة آلاف وأربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة قد نتجت عن نشاط بيولوجي ، فان الحقبة الرئيسة الاخيرة لتشكيل الحديد المخطط كانت خلال الفترة من ما قبل الفين (٢٠٠٠) مليون سنة الى الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت، وجرت اضافة الاوكسجين الى الجو بعد ذلك عندما كان الكثير أو أغلب الحديد قد



تاكسد . أما القرارات الحديدية التي تكونت في ازمة جيولوجية اكثر
حادثة فهي مراقد حمراء حيث الحبيبات الفردية مطلية بأوكسيد الحديد
الثلاثي الكافؤ (ferric oxide) .

وهكذا يمكن اقتفاء أثر باليوكيمياء (paleochemistry) الاوكسجين
الى الدهر ما قبل الكمبري في طبقات جيولوجية حمراء وحجارة جيرية .
والى ذلك العهد تعود ايضا التفحمت المتضمنة لمراقد الكربون الصافي تقريبا
التي اكتشفت في ميشيغان وفي فنلندا ، انه من الصعب تفسير هذه ما عدا
القول بأنها في الظاهر كانت قد تكونت بفعل حياة مستثملة للضوء جيدة
التنظيم ، وبالرغم من براعة بعض الأدلة على أشكال الحياة الاولى ، فانه
من الواضح ان هذه هي منتوجات الحياة التي قامت ما قبل الحقبة الكمبرية
وليست أحافير لمعضيات فعلية .

غير انه في اوائل الخمسينات من هذا القرن كان ستانلي تايلر
(Stanley Tyler) وهو من قسم الجيولوجيا بجامعة ويسكونسن ينقب عن الحديد
على سواحل ميشيغان لبحيرة سوبريور عندما عثر على مكان من فحمية عتيقة
تضمنت ما بدا له انها نباتات مجهرية . فقام بعرض عينات من هذا الفحم على
ويليام شروك (William Shrock) رئيس قسم الجيولوجيا في معهد ماشوسيتس
قنينة من الهلام تترك مفتوحة لفترة أطول مما ينبغي واقترح على تايلر ان
للتكنولوجيا فظن شروك ان النباتات تبدو شبيهة بالفطر الذي يتكون على
قنينة من الهلام تترك مفتوحة لمدة أطول مما ينبغي واقترح على تايلر ان يعرضها
على الخبير النباتي ايلسو بارغورن (Elsie Barghoorn) من جامعة هارفارد .

كانت نتيجة هذه الاستشارات أن انضم تايلر وبارغورن معا في رحلة
ميدانية الى الموقع لاجراء دراسة أكثر دقة ، وأدى البحث عما كان قد غُضِن
لفحة الفحم الى عبور الاثنين الى الجانب الكندي حيث وجدا سَجِيلا أسود

(black shale) وحجارة صوانية (chert) يعرفان باسم تشكيلة الصوان الوري (Gunflint Formation) ، وهي طبقة من الصخور ما قبل الكامبرية تقع على الساحل الشمالي لبحيرة سويريور قرب مدينة شريبر بمقاطعة اونتاريو مباشرة الى الشرق من خليج الرعد. وهذا الحجر الصواني الوري مغطى بالسجيل ويعتبر في العموم ميدل هيورين أوف كنديان شيلير نسبة الى بحيرة هيورون الواقعة في هذه المنطقة او قبيلة هيورون الهندية التي كانت تقطن هذه المنطقة).

أخذت عينات من الحجر الصواني وجرى قصها بمنشار ماسي الى شرائح رقيقة لدرجة انه بإمكان الضوء أن يتخللها . قام تايلر وبارغورن بقص أكثر من ثمانمائة (٨٠٠) شريحة رقيقة لاجراء الدراسات عليها ، وجرى استعمال حامض الهيدروفلوريك (Hydrofluoric acid) لاذابة حجر الصوان المكتمن وتحرير شظايا من النباتات البدائية والفضالة العضوية من البوغات (spores) والشعيرات ، وتم فرز خمسة اشكال مورفولوجية متميزة من احياء المنطقة الحيوانية والنباتية (morphological forms of biota) ، منها اثنان طحلبية واثنان

فطرية (fungal) وواحد بدا انه سوطي طباشيري (calcareous flagellate) . بدت هذه النباتات الدقيقة البسيطة جدا بأنها نماذج من السيانونوبكتيريا واشكال بسيطة من الفطر . أرخت تشكيلة الصوان الدرري هذه في ما قبل الف وتسعمائة (١٩٠٠) مليون سنة الى الفتي (٢٠٠٠) مليون سنة مضت ، مما جعل هذه الاحافير في ذلك الزمن من اقدم المتعضيات المحفوظة بنوياء^(٨).

وفي بحث لاحق في عام ١٩٦٥ أعلن بارغورن وتايلر^(٩) عن اكتشاف صنفية (array) من الاحافير المجهرية لنماذج أخرى من تشكيلة الصوان الدرري ، وعرضا فيها اثنتي عشرة تجميعة من الاحافير المجهرية الشعيرية والكربونية الاحادية الخلية ، وبدت الكربونية من شكليتها المورفولوجية بأنها

تنتمي الى الطحالب الخضراء زرقاوية القملية (coccoid blue-green algae)، بينما اتمت الاحافير الشعرية او الخيطية (filamentous) الى بكتيريا الحديد المسماة بالسفيروتيلاس (sphaerotilus) والسيدروكوكاس (siderococcus) . كانت هذه كلها عينات ممتازة محفوظة بتفلز البنية الخلوية في قالب سيليكوني . فهذا كانت مطبوعة في حجر صواني عمره الفا (٢٠٠٠) مليون سنة بقايا المتعضيات المجهرية التي عجلت في ترسيب التشكيلات الحديد حجرية وولدت الاوكسجين الطليق الذي جعل الحياة المستقبلية في ذلك العهد ممكنة .

بعد ذلك بقليل تمكن ويليام شوبف^(١٠) (William Schopf) ، وهو طالب تخرج سابقا على يدي بارغورن ويعمل حاليا في جامعة كاليفورنيا في لوس انجليس، من العثور على تجمعات مختلفة من الاحافير المجهرية النباتية بأشكال شعيرية وكريية جيدة الحفظ للغاية في تشكيلة النبع المر (Bitter Spring) في المقاطعة الشمالية من استراليا حصلت هذه الاحافير من الاحياء المجهرية (microbiota) في صخور صوانية كاربونية تقع في الطبقات العائدة الى الدهر ما قبل الكمبري المتأخر والكائنة في منطقة نهر روس في استراليا الوسطى، وقدر عمرها بحوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة . كانت هذه الاحافير قد نشأت من الطحالب التي كانت على ما يظهر قد نمت كصفائح رقائقية او حصران في بيئة بحرية وكونت ستروماتولايت طحلبية واسعة الانتشار . ومن بين التسعة عشر (١٩) نوعا التي عثر عليها شوبف كانت اربعة عشر منها من فصائل طحلبية معاصرة . فقد كانت الطحالب الخضراء زرقاوية الشعرية منها والكريية القملية منتشرة على نطاق واسع آنذاك ولا بد انها كانت ايضا متنوعة للغاية في هذا الزمن ما قبل الف مليون سنة خلت .

على ما يظهر ان هذه السبانوبكتيريا كانت مزدهرة فيما قبل الف مليون سنة خلت ويحتمل كثيرا انها هي المسؤولة عن الستروماتولايت البولوايية



(Bulawayan) الكائنة في زيمبابوي التي تكونت في ما قبل الفين وستمائة (٢٦٠٠) مليون سنة ، وايضا الستروماتوليت البونغولية (Pongolan) التي يمتد أصلها الى ما قبل ثلاثة آلاف ٣٠٠٠ مليون سنة خلت. ومهما تكن هذه النباتات ضاربة في البساطة فلا بد انها كان لها اسلاف تواجدت حتى في ما قبل زمنها، متعضيات مجهرية أكثر عتاقة حتى من اقدم الطحالب الخضراء زرقاوية . ومن هنا اصبح احد اهداف الدراسة الباليونتولوجية اجراء البحوث لدفع الآثار الاحفورية الى الوراء وتقريبها قدر المستطاع من اللحظة الاولى التي بدأت فيها الحياة على الارض.

في عام ١٩٦٥ كان بارغورن يجمع أحجارا صوانية من اماكن عديدة في اراضي جبل باربرتون (Barberton) من المنطقة الواقعة في شرقي الترانزفال بجنوب افريقيا قرب الحدود السوازيلاندية حيث تجري مياه نهر اومبليزي من خلال التلال المتسوجة في طريقها الى موزامبيق والمحيط الهندي . تتألف اراضي جبل باربرتون من بضع مئات من الاميال المربعة تكونت من أحزمة الحجارة الخضراء الاركية التي تمتد اعمارها الى ما قبل ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، وتتألف سلسلة سوازيلاند من هذه التشكيلة من مجموعة شجرة التين القائمة على سلسلة الانفرواكت . يكثر الكربون على نطاق واسع في هذه التشكيلة ، كما يوجد السجيل ايضا في بعض الاماكن التي كانت قد تحولت الى صخور صفائحية بركانية نقشية (graphic schists) بفعل الاستحالة الميتامورفية او الشكالية (metamorphism) ، وبعض الحجارة الصوانية السوداء هنا تتضمن ما لا يقل عن نسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) مواد عضوية .

قام بارغورن وشوبف بفحص مجموعة شجرة التين بالمجهر الضوئي ووجدا ان المصفوفة الصخرية (rock matrix) تتضمن العديد من الرقائق الطبقة تتألف من جسيمات قائمة اللون معتمة تقريبا من المواد العضوية . أو

هي ارتصاف الرقائق بموازاة طبقات الصخر الصواني (chert) الى أن الاستيداع او الترسيب (deposition) كان قد حصل في بيئة مائية . ولم يمكن رؤية أي شيء يشبه احافير المتعضيات المجهرية بالمجهر، ألا أن شوبف قام بصقل سطح المقاطع الصخرية ثم نظر اليها من خلال مجهر الكتروني، وتمكن الآن في هذا التكبير الاعظم أن يرى ما لم تسبق رؤيته قبلا . فقد وجد بنى كالتضبان طولها ما بين (٥٠ر) الى (٧٠ر) مليميرون وبأقطار قدرها (٢٠ر) مليميرون . كانت هذه مشابهة للبكتيريا القضيية الكسم ! كما وجد ايضا في وقت لاحق أحافير مجهرية كرية يبلغ قطرها (١٧) الى (٢٠) مليميرون شبيهة بالطحالب الخضراء زرقاوية من المجموعة القلبية الحديثة . وعلى الاجمال تم اكتشاف تسع وعشرين (٢٩) عينة واضحة المعالم في أحافير الاحياء المجهرية ، وهي أحافير لما بدا انها بكتيريا عاشت على الارض قبل ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون الى ثلاثة آلاف وثلثمائة (٣٣٠٠) مليون سنة مضت^(١١) .

بنفس الوقت كان هانز بفلوغ^(١٢) (Hans pflug) من جامعة يوستوس ليبينغ بفيسن (Justus Liebig, Giessen) بألمانيا الغربية ، يقوم بفحص أحجار صوانية وسجيل من رواسب شجرة التين بحثا عن بقايا عضوية بنيوية ، وبالفعل وجد تجمعات لبقايا متعضيات في العينات المأخوذة من المنطقة الواقعة على مقربة من منجم ذهب سبأ بجوار باربرتون . وكشفت الدراسات الكيميائية والنظرية للمواد العضوية ان هذه البنى تتضمن جدراناً خلوية مما حدى بفلوغ الى اقتراح تشابه لها بالسيانوبكتيريا الاوكالية (ocalean)، وحددت المقايسة الاشعاعية عمرها بثلاثة آلاف ومائتي ٣٢٠٠ مليون سنة.

لابد من اعتبار هذه الاحافير المجهرية من مجموعة شجرة التين تقريبا يقينا من أصل بيولوجي ويغلب الاحتمال بأنها بقايا متعضيات مجهرية شبيهة بالطحالب أحادية الخلايا . فالتركيبية العضوية والشكلية الثابتة ومحدودية

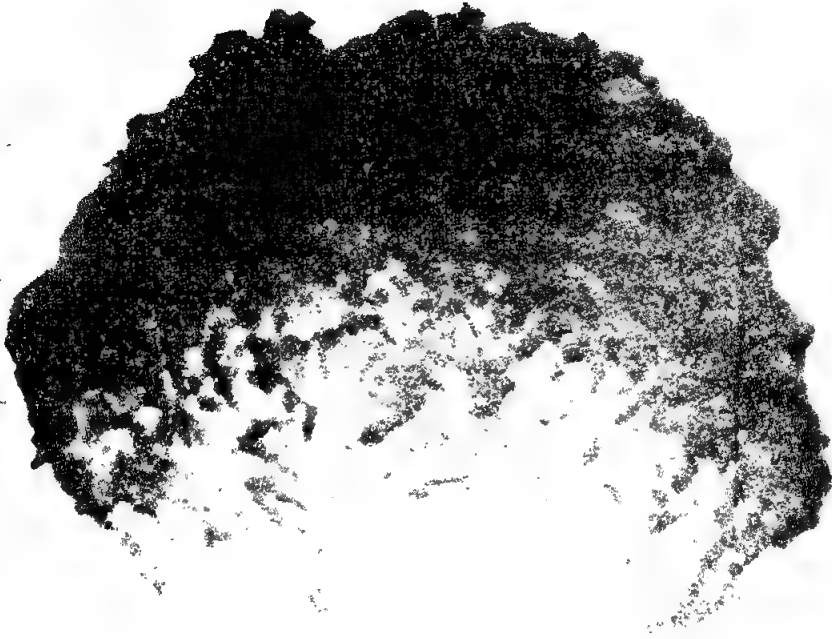


مدى تباين الاحجام، والمظهر المتشابه بالاحافير المجهرية الجيدة الحفظ من أحجار الصوان الوري والطحالب الخض زرقاوية من تشكيلة النبع المر ، كلها أدلة قوية على شكل حياتي شبه طحالي لا استيطاني احادي الخلية تواجد على الارض قبل أكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة.

وفي عمق قدره تقريبا خمسة وثلاثين الف (٣٥٠٠٠) قدم تحت مجموعة شجرة التين تقع سلسلة الانفرواكت على مساحة قدرها اربعمائة (٤٠٠) ميل مربع من الجزء الجنوبي من منطقة ارض الجبل، وتبلغ سماكة هذه السلسلة خمسين الف (٥٠٠٠٠) قدم. في عام ١٩٦٨ أعلن اينغل وآخرون^(١٣) (A.E.J. Engel and others) اكتشاف بنى مجهرية كروية وكأسية الكسم في هذه المجموعة من الصخور الاركية ، تراوح حجم خمسمائة وتسعين (٥٩٠) بنية ما بين ستة الى مائة وثلاثة وتسعين (١٩٣) ميكرون بدون سيادة أي حجم مفرد بينها. غير ان هذا التباين البالغ ثلاثين ضعفا بدا انتشارا أوسع بكثير مما يمكن معه اعتباره رمزا خصائصيا لمنظومات يولوجية منتظمة.

في أعقاب هذا التقرير او الاعلان قام جيم بروكس (Jim Brooks) ومارجوري ميور^(١٤) (Marjorie Muir) بتحري عينات من طبقات انفرواكت أولا بمعالجة شرائح من الصخر غير المسحوق بنسبة عشرين بالمائة (٢٠٪) من حامض الهيدروفلوريك لهضم المصفوفة اللاعضوية ، وتمكنا من استحصال فضلة مركزة قاتمة من المادة العضوية تمثل ما بين (٢٠) الى (٤٨) بالمائة بالوزن من العينات. وعند معاينتها بالمجهر الالكتروني تبين ان المواد العضوية كانت بقايا أحفورية لما ظهر انه جدران خلوية لمتعضيات مجهرية تألفت من صنفين أساسيين اثنين، الاول بشكل كريات يبلغ قطرها (٧ الى ١٠) ميكرون، والثاني بشكل شعيرات بحجم (١٥ الى ٢٠) ميكرون ، وأظهرت أحافير

المتعضيات المجهرية هذه تشابهات مورفولوجية مع تلك المكتشفة في مجموعة
شجرة التين العلوية والاكثر حداثة.



الشكل ١/٣ - حفرة مجهرية من تشكيلة انفرواكت

كشف الاستخراج والتحليل الكيميائيان للمادة العضوية المأخوذة من مجموعة شجرة التين عن احتوائها على (٠.٠٠٣ ر. الى ٠.١٥ ر.) جزءا بالمليون من الهيدروكربونات الالفاتية (C15—C25: aliphatic hydrocarbons) ومقادير أكبر من الپريستان (C19 C40: pristane) ^(١٥) . وتضمنت أحجار انفرواكت الصوانية هيدروكربونات اليفاتية طليقة ، وحوامض دهنية (fatty acid) ، وبرافينات عيارية (C12—C24: n-paraffins) ، وبريستان ، وفيتان (phytane) ^(١٦) . ولما كان الپريستان والفيتان من الهيدروكربونات شبه الایسوبرينية (isoprene 9. isoprenoid) هو سائل عديم اللون متطاير يستحضر من التقطير الجاف للمطاط الخام أو اصطناعيا) فان هذا يدل على ان المادة من أصل حياتي. الا انه عند قيام ناجي (Nagy) ^(١٧) بفحص مسامية وترشحية (porosity and permeability) حجر صوان الانفرواكت ، تبين انه من الممكن ان تكون الهيدروكربونات منتضحة (percolated) في الصخور بالتقطر من الاعلى.

مع ذلك، فقد كانت اغلب المادة العضوية في الصخور من الكيروجين (Kerogen) وهي مادة قيرية صلبة في بعض السجيل تدر البترول عند تسخينها، وهو فضالة عسيرة الطرق كان يمكن أن تتكون في مكانها. قامت دوروثي اوهرل ^(١٨) (Dorothy Ohler) بتحليل الكيروجين بطريقة مختلفة اثناء عملها على اطروحتها مع شوبف بجامعة كاليفورنيا ببلوس انجلوس، وأبدت المتعضيات المستثملة للضوء تفضيلا لـ C₁₂O₂ على C₁₃O₂ عند امتصاصها لثاني اوكسيد الكربون . وبمقايضة نسبة C¹³/C¹² في الكيروجين ، أمكن التثبت ما اذا كان هذا قد تأتى من التمثيل الضوئي أم لا، واوحت النتائج التي حصلت عليها اوهرل بـلايجاب وان الاوتوتروف (autotrophs) او الذاتيات

الاغذاء القادرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون كانت موجودة على الارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف مليون سنة^(١٩).

وباستعمال طريقة نظير الكربون (carbon isotope) قام شوبف وتلامذته بدراسة اقدم الستروماتوليت المعروفة آنذاك، وهي تلك المأخوذة من تشكيلة بولاويو، وبالنتيجة ايد هؤلاء ان هذه البنى كانت قد اختلقت بفعل المتعضيات المستثملة للضوء، واقترح شوبف^(٢٠) ان عمرها المحدد بالفين وستمئة (٢٦٠٠) مليون سنة قد يكون تقديرا في غاية التدني لزمان نشأة الطحالب الخضراء زرقاوية او البكتيريا المستثملة للضوء كمجتمعات بيولوجية متكاملة شعيرية. فقد يمتد اصل الطحالب الخضراء زرقاوية أو في الاقل الاسلاف الضوء بكثيرة (photo bacterial) لجميع الطحالب الموجودة اليوم الى أقدم الاحافير المعروفة للمتعضيات المجهرية على الارض، وهي تلك المأخوذة من سلسلة انفراوخت والاحافير المماثلة لها مورفولوجيا المكتشفة في مجموعة واراوونا (Warrawoona Group) في نورثول بغرب اوستراليا، والتي وجدت أن عمرها يبلغ ثلاثة آلاف وخمسمئة (٣٥٠٠) مليون سنة^(٢١).

كما قد تم اكتشاف أحافير مجهرية مماثلة من الدهرين الاركي والبروتيروزوي تشبه البكتيريا والطحالب الخضراء زرقاوية في مقاطعة اونتاريو بكندا، وفي شرق كاليفورنيا، وفي جنوبي افريقيا، وأستراليا الوسطى والجنوبية، والاتحاد السوفياتي^(٢٢). انما توجد درجة من الريسة او اللامعلومية حول البنى المنتظمة التي يربو عمرها على النفي مليون سنة، لأن المادة العضوية عادة تتجمع في كريات، ولذلك فان هذا لوحده لا يكفي لتثبيت أصل العمر الحياتي. ومن بين البنى المجهرية الشبيهة بالاحافير والاكثر قدما من النفي مليون سنة التي تم وصفها حتى الآن، ربما ان العديد منها لم

تكن أحافير متعضيات^(٣٣). مع ذلك، فإن الستروماتوليت التي يحتمل انها من أصل طحلي كانت مزدهرة في ما قبل ثلاثة آلاف مليون الى ثلاثة ومائة مليون سنة خلت، ويمكن ان تعود الطحالب المسؤولة عن نشوئها الى اشكال شوهدت في الصخور الرسوبية لمجموعة شجرة التين وسلسلة انفرواكت وايضا في صخور مجموعة واراوونا.

يفترض ان هذه المتعضيات المجهرية المحتملة من الدهر الاركي كانت من نوع البروكاريوت (procaryotes) وهي ابسط شكل معروف للخلية الحية. ولا بد ان خليه اليوكاريوت (Eucaryote)، وهي صنف الخلف البيولوجية الاكثر تقدما وتعقيدا الذي أدى الى نشأة جميع اشكال الحياة اللاحقة، كانت قد ظهرت في زمن ما في الدهر ما قبل الكمبري، واذا كان بريستون كلاود (Preston Cloud)، الخبير الجيولوجي بجامعة كاليفورنيا بساتابرابارة، مصيبا في رأيه، فان خلايا اليوكاريوت ظهرت الى الوجود في فترة ما قبل النفي مليون سنة والف وثلاثمائة مليون سنة خلت.

في عام ١٩٦٦ قام كلاود والعاملون معه بتجميع عينات من الحجر الصواني الاسود الواقع في عمق ١٨٥ متر تحت الملامسة العلوية لأحجار دولوميت بيك سبرينغ (Beck Spring Dolomite) في شرقي كاليفورنيا، وكشفت دراسة شرائح رقيقة منها عن وجود أحاديات الخلايا واجسام شبه بوغية شوكية جيدة الحفظ فيها. كانت هذه الاحافير لسلالة من الكسما (shapes) الشعيرية والكروية (spherical) المجهرية مشابهة لمتعضيات مجهرية محتفزة او متحجرة اقدم باستثناء فارقين مهمين اثنين، فقد كانت هذه اكبر بكثير من الاشكال (forms) الاقدم، وبعض الاشكال الشعيرية كانت متفرعة^(٣٤). وتبين التحليلات الحديثة للاحافير المجهرية من حيث الحجم والتوزيع ان اليوكاريوت أكبر بحوالي عشرة اضعاف من البروكاريوت^(٣٥).

توجد بروزات صخرية (outcrops) متضمنة للاحافير في عمق (٢٩٠٠) متر تحت أعماق الاحافير الاثرية (trace fossils) للتوالي أواحياء الدهر الوسيط (metazoa) ، وهذه اقل عمرا من الف وسبعمائة (١٧٠٠) مليون سنة. وقد جرى تسبب هذه الى مجموعة أخرى مؤرخة بعمر يبلغ الف ومائتي مليون سنة الى ألف واربعمئة مليون سنة. ان الاحافير الاكثر تعددا من اماكن مختلفة هي تلك الخاصة بالسيانوبكتيريا / الشعيرية المصنفة في الجنس (genus) الجديد المسمى بيكسبرنغيا (Beckspringia) . وبعد دراسة النباتات المجهرية في التشكيلات ذوات الاعمار المثبتة حاول ليكاري (Licari) وكلاود درج اصل اليوكاريوت بين ما قبل الف وثلاثمئة مليون الى الف وستمئة مليون سنة خلت (٢٧) .

يوجد نزاع حول زمن نشوء اليوكاريوت . فان هيلين تابان (٢٨) (Helen Tappan) من جامعة كاليفورنيا بلوس انجليس، تعتقد ان اليوكاريوت تواجدت في زمن تشكيلة الصوان الوري قبل الف مليون سنة ، لكن نول وبارغورن (٢٩) (Knoll) ، من جهة أخرى، ينفيان تواجد اروغانيلات (organelles) خلوية متحجرة وظهور الخلايا اليوكاريوتية قبل التوالي، غير انه اذا صح رأي بريستون كلاود ، وجيرالد ليكاري، وآخرين، حول أحافير دولوميت بيك سبرنغ، فان هذه الاحافير ستؤشر أعظم اقتحام بيولوجي في تاريخ الحياة على الارض، ألا وهي الخلية اليوكاريوتية.

ولا يزال سجل الاحافير متقطعا بالنسبة الى الفترة الانتقالية من المتعضيات المجهرية الاحادية الخلايا لما قبل الف مليون سنة الى احياء ايدياكارا المؤرخة في ما قبل ستمائة مليون سنة خلت، عندما ظهرت التوالي او الحيوانات المتعددة الخلايا مع خلاياها منظمة في طبقات من النسيج، الا انه قد ظهر

اكتشاف في السنين السبعينية من هذا القرن ربما قد ساعد في اجتسار الثغرة.
فقد أعلن بوين بلوزر (Bonnie Bloeser) وشوبف من جامعة كاليفورنيا بلوس
انجليس ، وروبرت هورودسكي (Robert Horodyski) من جامعة طولان
(Tulane) وويليام بريد (William Breed) من متحف شمال اريزونا (٢٠) أعلنوا
عن عثورهم على أحافير مجهرية في صخور دهر ما قبل الكامبري في وادي غراند
كانيون وبدوانها تنتمي الى المجموعة المتميزة لمتعضيات العوالق البحرية الاحادية
الخلية المسماة بالقرنيات (chitinozoa) التي تبلغ من العمر سبعمائة وخمسين
مليون ± مائة مليون سنة ، ويعتقد ان القرنيات من الهيتروتروف
heterotroph أي العضوية الاغذاء ، وهذا يعني انها، كباقي الحيوانات،
لا تستطيع انتاج غذائها وانما تعتمد على التمثيل الضوئي للنباتات، والقرنيات
هي الهيتروتروف التي تقع بين الحيوانات المتعددة الخلايا والطحالب
الاولوتروفية.



الفصل الرابع - عصر البروكاريوت

كانت الارض قد دارت حول الشمس اكثر من الف (١٠٠٠) مليون مرة قبل ظهور حتى ايسط اشكال الحياة التي تركت أثرا يدل على وجودها ، وكان ذلك عالما مختلفا كثيرا جدا عن عالمنا الذي نعرفه اليوم ، وتألف السطح المقفل الصخري الذي برز فوق البحار البدائية من وجه البراكين السوداء والقائمة المعتمدة . لم يتضمن الجو أي اوكسجين وتألف من النيتروجين وبعض الهيدروجين وأول وثاني اوكسيد الكربون . كانت نسبة ثاني اوكسيد الكربون أقل من واحد بالمائة (١٪) ولكنها مع ذلك كانت عشرة اضعاف تركيزها في الوقت الحاضر ، بينما كانت البحار مجرد أحواض ضحلة من الغسالة الحارة للسطح البازلتي .

تألفت الرواسب من تثار الحثات الناتج عن تآكل الصخور البازلتية في معظمها الناشئة عن أصل بركاني متساقطة في بيئة بحرية لا هوائية ، وأدت الاحوال الانتقاصية للجو والبحار الى ترشح كميات هائلة من أيونات الحديد الثنائي التكافؤ والكبريتيد الى مياه البحار . لم تبدأ البحار باتخاذ خصائصها العصرية الى أن سادت اعادة تدوير الرواسب على تآكل الصخور البازلتية وتضمن الجو قدرا من الاوكسجين المطلق . لكن هذا العصر كان آنذاك لا يزال بعيدا جدا في المستقبل .

كأنت تلك بيئة غريبة نازعة ومختلفة كلياً لما نعتبره اليوم ملائماً للحياة .
انما هذا كان مقدرا ليحصل ، اذ قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة تكتل تجمع صغير وبسيط نسبيا من المركبات العضوية في غشاء دهني وبدأ يحتضن تفاعلات بدائية ، تناسخت الخلايا التي تمكنت من



امتصاص المواد المتوفرة وتكثيفها في مركبات من البولي نووتيد (polynucleotides) والبولي هضميتيد (polypeptides)، واتخذت طبيعة البكتيريا البدائية، ونشأ التأيض (metabolism) عن التفاعلات التي تمكنت الخلايا من استعمالها لتحليل المواد وتحويلها الى طاقة كيميائية لها ولتفاعلاتها التكاثرية. ولانجاز هذا تحتم اختزان الطاقة الكيميائية في حامل (carrier) ونقلها الى جزيئات أخرى ليتسنى تحويلها الى مشتقات منشطة. كانت مشتقات البيروفوسفات (pyrophosphates)، ولاسيما ثلاثي فوسفات الادينوسين (ATP=Adensine Triphosphates: أتب)، من المشتقات المتخذة لهذا الغرض في وقت مبكر وربما كانت الاولى مطلقا. ومتى ما تم تكوينها، كانت هذه المشتقات المنشطة محفزة طاقويا لاتباع التحلل التلقائي، وهي تفاعلات تنشأ وتتم ذاتيا لكنها في الاغلب تكون بطيئة ما لم يجر تحفيزها بمحفز مساعد (catalyst) •

ربما ان هذا المستوى من التطور لم يلبث أن افضى الى نشوء متعضية أخرى ملكت القدرة على ان تستمد كاربونها من الموجود الغزير من ثاني اوكسيد الكربون. لكنها لكي تتمكن من القيام بهذا كانت بحاجة الى مصدر للطاقة والى الهيدروجين، انما كلاهما كانا متعرضان بفزارة، وكل ما مست حاجتها اليه كان طرائق كيميائية لتستخدمها في استخراجهما وتسخيرهما. كانت الشمس تغمر سطح الارض بكميات لا حصر لها من الاشعاع، فكانت المواد الملونة تمتص الضوء المرئي وتحوله الى حرارة، فبدلا من تبديد الطاقة الضوئية وضياعها كطاقة حرارية، كان يجري تناولها واختزانها في بنية كيميائية لفترة زمنية تكفي لاستخدامها لتوليد ثلاثي فوسفات الادينوسين (أتب) واختزال ثاني اوكسيد الكربون فيتوفر للمتعضية خزين من الطاقة حتى عندما لا تتوفر مواد تتغذى منها.

على ما يبدو ان هذه هي المرحلة التي ظهر فيها الفريدوكسين لأول مرة
(Felledoxin = بروتين يتضمن حديدا يتواجد في جيلة اليخضور -
الكلوروبلاست chloroplast - وهو عامل اساسي في عملية التمثيل الضوئي).
واندمجت هذه المادة البيوكيميائية المتكونة من مشبوكة (complex) من الهضمتين
وكبريتيد الحديد الغزير في الجهاز البيوكيميائي (biochemical system)
وبقيت فيه كمكون عام شائع في الخلايا الحية منذ ذلك الحين. وقد تمكن
الفريدوكسين، بصفته أحد مكونات جهاز التمثيل الضوئي
(photosynthetic apparatus)، من تقبل طاقة الضوء الممتصة في الصبغات
واختزانها على مستوى الطاقة الالكترونية (electron energy level) لحين
ساس الحاجة الى استخدامها لاختزال ثاني اوكسيد الكربون.

آنذاك كانت أول متعضية مستثملة للضوء ستحتاج الى خضاب أو
صبغة وفريدوكسين ومصدر للهيدروجين، ولا بد أن المورد الأول للهيدروجين
الى المتعضية البادئة كان المواد التي تطلبت أقل قدر من المورد توفر في المواد
العضوية الواقعة في المتناول.

تشير الفرضيات الى ان الهيتروتروف (heterotroph) كانت أولى المتعضيات
المختلفة في الوجود وكانت تعاش من مؤايضة خزين من المواد العضوية،
ولكنها فيما بعد استتبعت شكلا بدائيا من التمثيل الضوئي عند شحة موردها
الغذائي، ولا يزال يوجد اليوم بكثيرة مختضبة تعرف باسم اثيوروداسيا
(Athiorhodacea) تبدو انها منحدره من هذه المرحلة الاولى من الحياة.
وبوسع الاثيوروداسيا أن تنمو لا هوائيا كهيتروتروفة في محاليل تتضمن
حامض البيوتريك (butyric acid) أو الزبدك وغيره من المغذيات العضوية
باستخدام الطاقة الكيميائية التي تستمد منها. انما بوسع هذه المتعضية
ايضا ان تمتص الضوء وتقوم بعملية نقل الهيدروجين بالتحفيز الضوئي



(photocatalytic transfer) واختزال ثاني اوكسيد الكربون ، ومصدرها للهيدروجين في هذه الحالة هو المادة العضوية غير القابلة للاستنفاع . لكن الحاجة أصبحت تتطلب مصدراً آخر من الهيدروجين عندما لم تعد المادة العضوية تتوفر بسهولة أو نضبت كلياً، وهنا نشأت بكتيريا مستثملة للضوء تملك القدرة على استخدام كبريتيد الهيدروجين كمصدر للهيدروجينها، ولا يزال هذا الصنف من اللاهوائيات موجوداً حتى اليوم بصفة بكثرة الكبريت الارجوانية المسماة بالكروماتيوم (chromatium) وبكتيرة الكبريت الخضراء المسماة بالكلوروبيوم (chlorobium) ، وكلاهما يوجدان في البحيرات الضحلة وأخوار البحار الضحضاة حيث يتوفر كبريتيد الهيدروجين بغزارة . وفي كل من هذين الصنفين من التمثيل الضوئي لا يحصل الاوكسجين كمنتوج جانبي .

وبما ان هذه الاشكال البكتيرية للحياة المستثملة للضوء كانت هي المتعضيات السائدة على الارض طوال مئات عديدة من ملايين السنين ، وحتما بقيت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكربون جارية لفترة طويلة من الزمن قبل أن تنشأ متعضيات في المستوى حيث تملك القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي المحررة للاوكسجين . غير انه في الاخير، وبسبب نضوب مورد المصادر الاخرى للهيدروجين ، أو ربما مجردا بسبب محض الغزارة، تطورت متعضية بيوكيميائيا حتى اصبحت قادرة على استخراج الهيدروجين من اغزر مصادره على الارض ، الا وهو الماء . لكنها هنا تطلبت عشرة اضعاف الطاقة لاستخراج الهيدروجين من الماء مما تطلبت لاستخراجه من كبريتيد الهيدروجين ، انما مورد الماء كان لا ينضب . والمتعضية التي طورت تجزئة الماء بالتحفيز الضوئي اصبحت السيانوبكتيريا ومعها بدأ تاريخ انتاج الاوكسجين قبل ثلاثة آلاف مليون سنة خلت .



لم يتم التثبت بالضبط في أي زمن ظهرت الطحالب الخضراء زرقاوية الى الوجود، لكن الدراسات بالنظير الكربوني التي أجرتها أوهرل^(١) تشير الى تثبيت أو اختزال ثاني اوكسيد الكربون كان متعاصرا مع أقدم الاحافير المجهرية فيما قبل ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، وربما استغرقت هذه العملية ملايين السنين في النشوء ولكنها مع ذلك كانت متوافقة مع أقدم الاحافير. وعلى ما يظهر ان الستروماتوليت البولالوية من زيمبابوي نشأت عن النشاط السيانونوبكتيري، ولما كانت هذه مؤرخة فيما قبل الفين وستمئة مليون سنة ، فان فترة قدرها ثمانمئة مليون سنة ، وهي اطول من فترة نشوء الانسان من مستوى الاوالي أو الاحادية الخلية (protozoan) ، تكون قد انقضت من اول ظهور الحياة الى الزمن حين كانت الطحالب الخضراء زرقاوية تنمو بغزارة في المياه الدافئة في بحار الدهر الاركي.

ليس ثمة شك مطلق في ان السيانونوبكتيريا كانت بين اعتق اشكال الحياة التي ظهرت على الارض، ومن بين اكثرها نجاحا . وهذه المتعضيات المجهرية البسيطة لا تزال باقية حتى اليوم وتتواجد بغزارة في تجمعات المياه العذبة الضحلة كالبرك والحفر والبحيرات الضحاحة ، وذلك اثناء ومباشرة اعقاب فترات درجات حرارة الهواء العالية . وهي لحد ما موجودة في كل مكان، من المناطق القطبية ، وفي جميع انحاء المناطق المعتدلة ، وهي في مياه المدارين (tropics) الدافئة . كما انها، باستثناء بعض البكتيريا ، تنمو ايضا حيث تعجز عنه المتعضيات الاخرى، وذلك في مياه الينابيع الحارة التي لا تقل درجة حرارتها عن ثمانين (٨٠°) درجة مئوية^(٢) كالتي في نيوزيلندا وفي يلوستون بكاليفورنيا.



تتتمي البكتيريا والسيانوبكتيريا الى مرتبة خاصة من الحياة تسمى بالمونيرا (monera: النويات) ، بينما تنتمي جميع الكائنات الحية الاخرى أما الى صنف المتعضيات المجهرية الأحادية الخلية اليوكاريوتية او الى اشكال الحياة المتعددة الخلايا اليوكاريوتية . اذ، خلاف التصنيف التقليدي الشائى للحياة الى مملكة حيوانية وأخرى نباتية ، يستحسن تبويب العلاقات النشوءية في تصنيف خماسي الممالك، والبروكاريوت تقع بين افراد مرتبة المونيرا وتتميز ببساطة بنيتها الخلوية ، بينما جميع اشكال الحياة الاخرى هي اما خلايا مفردة يوكاريوتية او متعددة الخلايا يوكاريوتية تكون النواة او الميتوكوندريون (mitochondrion) والمكونات الاخرى للخلية فيها مغلفة في غشاء. أما في البروكاريوت فالشيء الوحيد المغلف بالغشاء هو الخلية نفسها.

ان خلايا السيانوبكتيريا معتمدة في وعاء غروي خارجي تليه طبقة نشوية وسيطة ثم جدار باطني من الخليولوز او السيلولوز (cellulose). وعلى جدران خلايا الطحالب الاخرى، ان جدران خلايا الطحالب الخضزرقاوية تتضمن حوامض امينية مثلما هي الحال في الجدران البكتيرية، لقد ظهرت الطحالب الخضزرقاوية في زمن مبكر كزمنة متينة ومقتدرة من التمثيل الضوئي، وباستخراج ثاني اوكسيد الكربون واستخدام الماء كمورد للهيدروجين تقوم بتحويله الى نشاء سيانوفيشي (cyano-phycean) :- نشاء حشائشي بحري مختضب بالزرقة). ومن جهة أخرى كانت هذه الطحالب ولا تزال ابسط النباتات المنتجة للغذاء.

اختتم الدهر الاركي قبل الفين وخمسائة (٢٥٠٠) مليون سنة بتصاعد الجبال الذروي ، وأصبح معه الدرع الكندي (Canadian shield) اقليم كينوران الذي جاء كاضافة متممة لهوامش القارة النامية ممتدة من اقليم سلاف في الشمال الغربي من لابرادور شرقا عبر غرينلندة لتنتهي في الاجراف القارية للاطلنطي ما بين غرينلندة وسكوتلندة . كما حصلت تطورات مماثلة في غرب أستراليا، وجنوب الهند، واواسط وجنوب افريقيا، والاحواض الرسوبية الآخذة بالتكون آنذاك كانت من اصل الاغوار الكراتونية (cratonal) وذلك على نقيض الرواسب البركانية التي تكونت في أزمنة سابقة لهذا.

لقد بدأت الحياة على الارض في بيئة عديمة الاوكسجين . كان الجو يتضمن قدرا ضئيلا من الهيدروجين ، وكانت الصخور وأغلب الفلزات المحلولة في البحار في حالتها المنقوصة وتكافؤها الادنى، وهذا الوضع ملحوظ على الاخص بالنسبة الى الحديد والكبريت . ان املاح الحديد الثنائي التكافؤ قابلة للذوبان نسبيا ، لكن الحديد المؤكسد مقاوم للذوبان. وكتيجة لهذا ان تركيز الحديد المذاب في البحار اليوم منخفض للغاية (ويبلغ

اقل من 10^{-6} مولار molar وهي وحدة جزيئية غرامية، و molar هي صيغة النسبة من مول mole وهي كتلة تتضمن كمية من المادة الكيميائية لها وزن بالغرام يساوي عدديا وزنها الجزيئي، والمولة (تعرييا) الواحدة من المادة تحتوي على 6.022×10^{23} جزيئة)، اما الوضع في الدهر الاركي كان على نقيض هذا . اما الكبريت ، وهو سريع التأكسد ، فيتواجد بوجه رئيسي ككبريتات او سلفات (sulfide) من كبريتيد الهيدروجين المذاب الناشئ من أصل بركاني .

تألفت الحياة البدائية التي نشأت في ظل هذه الظروف من متعضيات مجهرية لا هوائية تؤايز كربوهيدراتها بالتحليل التخيري وتستخرج الطاقة المخزونة في الروابط الكيميائية عند اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى سكاكر بفعل التمثيل الضوئي بنفس الطريقة التي تحصل في الخميرة (yeast) اليوم . وكانت هذه الطريقة بالنسبة الى شكل الحياة البسيط القائم في ظل الظروف البيئية السائدة آنذاك طريقة بيوكيميائية تامة ووافية بالفرض .

لكن تحرير الاوكسجين من قبل السيانوبكتيريا في تحفيزها الضوئي (photo catalysis) للماء جاء بتلويث خطر على جميع اشكال الحياة . فالاوكسجين الطليق عامل شديد التفاعل يؤكسد بسرعة المواد المختزلة ، فلزينة كانت أم بيولوجية . وعليه ، لتفادي هلاكها بفعل فضلاتها الذاتية اضطرت الطحالب الخضزررقاوية الى معادلة أو محايدة الاوكسجين أو ازالته من بيئتها مباشرة فور تولده . وفي البحار الاركية كان الحديد الثنائي التكافؤ النوع الكيميائي الاكثر توفرا وتفاعلا الصالح لهذه الوظيفة، وفيما تفاعلت املاح الحديد الثنائي التكافؤ مع الاوكسجين اخذ اوكسيد الحديد الثنائي التكافؤ المقاوم للذوبان يترسب، وعلى مر الزمن كانت نشأة الاوكسجين قد جاءت لتغير خواص البحار . وبحلول أواخر الدهر الاركي كانت الطحالب الخضزررقاوية



واسعة الانتشار ومزدهرة ، ومع انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة أخرى على ذلك، كانت تولد كمية من الاوكسجين كبيرة بما جعل الحديد الثنائي التكافؤ ينضب من البحار ، وأصبحت قرارات هائلة من حجر الصوان الحديدي الطبقات المترسب من السيليكا المترسبة ، أصبحت الخامات الحديدية الواقعة الآن في امريكا الشمالية حول البحيرات العظمى وفي لابرادور ، واقليم هلمزلي بغرب استراليا ، وفي موريتانيا بشمال غرب افريقيا.

كانت درجة الحرارة المناخية تنخفض ببطء الى ما دون سبعين (٧٠) درجة مئوية في أواسط الدهر الاركي قبل ثلاثة آلاف مليون سنة . وبين ما قبل الفين ومائتي (٢٢٠٠) مليون سنة والفى (٢٠٠٠) مليون سنة دخلت الارض في احدى دوراتها البرودية وحصل أول عصر جليدي معروف . ومن ذلك الزمن فصاعدا اصبحت هذه الواقعة خاصة متكررة في تاريخ الارض .





الشكل ٢/٤ - السيانوبكتيريا (غليوكابسـا Gloeocapsa) مكبرة (٤٠٥٠٠) ألفا وخمسمائة مرة بالمجهر الإلكتروني ، والصورة تبين مقطعاً طولياً لخلية في حالة الانقسام . والمنطقة الباهتة الوسطية تتضمن الحامض الخلوي الصبغي (دنا DNA) ، والخطوط المتراكمة المحزرة هي رئات شريحية تتم فيها عملية التمثيل الضوئي.

حصل آخر استقرار عظيم للتشكيلات الحديدية الطبقات في الفترة بين ما قبل النفي (٢٠٠٠) مليون سنة والف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت. وفي أعقاب ذلك، بعدما كان الكثير او معظم الحديد قد تأكسد، بدأ الاوكسجين يتسرب الى الجو. وتوجد بعض قرارات حجر الحديد من هذا الزمن تتضمن الاؤوليت (oolites = حجر كلسي بطرخي) وبنى أخرى تدل على تجمعات مائية ضحلة وتبين بأنها كانت من بين أقدم الخطوط الساحلية في ماضي الارض. ويمكن اليوم مشاهدة بقايا هذه في لابرادور وفي كاريبيا على مقربة من الحدود بين فنلندة والاتحاد السوفيتي.

بهذا الوقت كانت انواع وأشكال الحياة المجهرية قد ازدادت تنوعا الى حد كبير، وهذا هو زمن تشكيلة الصوان الوري (Gunflint Formation) التي تركت كمية كبرى من الاحافير المجهرية البكتيرية والاشباه طحلية. مع ذلك، كانت الحياة لا تزال على مستواها الميكروبي (microbial) ومقتصرة على البحار، وكان البر اليابس لا يزال غقيما مقفرا لا يضم حتى ابسط اشكال النبات.

ومن جهة أخرى كانت البحار تضج بالحياة. فالجهاز البيولوجي الكفاء لدى الطحالب الخضزرقاوية للاستدرا من المخزونات الالامحدودة من ثاني اوكسيد الكربون والماء وضوء الشمس لتشيد ولبناء مكوناتها العضوية مكنها من التوسع والانتشار في بقع بيئية ملائمة ومحمية من البحار. وبحلول أواسط الدهر البروتيروزوي كانت هذه شكل الحياة السائد لدرجة يمكن معها تسمية هذا الزمن بالعصر السيانوفيشي. ورغم ان الطحالب الخضزرقاوية بذاتها مجهرية الحجم، فانها كانت تترك في المياه الضحلة مخلفات عظيمة تشهد على تواجدها.

وبما ان المنظومات البيولوجية الاولى كانت تعيش في زمن كان جوه



معدوما من الاوكسجين فانها كانت محرومة من طبقة الاوزون لدرء الاشعة ما فوق البنفسجية القتالة عنها . وكل متعضية نجت وبقيت في الحياة في مثل هذه الظروف تمكنت من ذلك بفضل احتماؤها في اماكن مستورة أو في اعماق بعيدة لم يصل اليها هذا الاشعاع، ولهذا السبب قد نشأت السيانوبكتيريا من اسلاف متكيفة للغاية للحياة في الضوء الضعيف . وفي الاخير استتبعت هذه العوالق العنسية البحرية (phytoplankton) أغمدة جلاتينية سميكة ملونة أو شفافة لتقيها شدة الضوء الباهر . عاش العديد منها في مستوطنات أو كتل لا شكلية أو طبقات مخاطية نشأت بفعل ذوبان وتلاحم الاغمدة الفردية . وبما انها كانت تتأثر بالضوء فقد كانت تنتقل تحت ستار أية رواسب تحجب عنها الضوء كلياً ، وفيما فعلت ذلك تلاحق مخاطها وأحتجز الجسيمات في اماكنها . كان العديد منها يملك اغمدة مخاطية لزجة شكلت شبكات متخلخلة من الشعيرات تساقطت الرواسب من خلالها وخلقت أشكالاً عمودية . لذلك ، بالرغم من كون هذه الطحالب الخضزرقاوية مادة خلوية فانية ، فانها قد تركت آثاراً دائمية في الستروماتوليت الواسعة الانتشار في الدهر الاركي .

بدأت اقدم قرارات كبريتات الكلسيوم تتكون قبل حوالي الف وخمسمائة (١٥٠٠) مليون سنة خلت وبالرغم من ان ايونات الكبريتات كانت قد تواجدت في حالة المحلول ربما لزمان قبل هذا التاريخ، فان هذا يدل على توفر ما يكفي من الاوكسجين الطليق الآن لأكسدة حوامض الكبريت في البحار . وبانقضاء نحو ثلاث ارباع الزمن الجيولوجي لابد ان البحار كانت في هذا الاوان قد بلغت احجامها التي هي عليها اليوم، وكانت تتخذ خصائصها العصرية .

نظرا لأن جميع الاحياء المجهرية التي قطنت البحار نشأت وتطورت في



بيئة خالية من الاوكسجين ، فانها كانت لا هوائية ، أي انها لم تستخدم التنفس التأكسدي . فهي لم تحتج الى الاوكسجين ولم ترغب فيه ، وقد كان بالنسبة اليها بمثابة السم القاتل . لكن مع استقرار آخر الحديد الثنائي التكافؤ في تشكيلات من الطبقات الحديدية بدأ الاوكسجين الطليق ، اعتبارا من حوالي ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة فصاعدا ، يتسرب الى الجو من تفاعل التمثيل الضوئي للطحالب الخضزرقاوية . استغرق الاوكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي أكثر من الف مليون سنة ليؤكسد جميع المواد الموجودة في نطاقتي جو الارض البحري والعلوي ، لكن العملية استمرت باطراد . وأخيرا شكل هذا التغير في بيئة الارض من احوال انتقاصية الى تأكسدية خطرا داهما على قاطنيها الذين ظلوا سادة الارض غير المنازعين لفترة تناهز الالف مليون سنة .

والعديد من الاحياء التي عاشت واجهت هذا الخطر بتنمية خمائر أو أنزيمات (Enzymes) كوسائط توفيقية للاوكسجين تسمى بالاوكسيداز (oxidases) لوقاية مكوناتها البيولوجية من التلف بفعل الاوكسجين ، وربما ان بعضها نجا بالتراجع واللجوء الى بقع خالية من الاوكسجين ، وتتواجد هذه اليوم بمثابة بكتيريا لا هوائية ، لكن عصر البروكاريوت كان يشارف على الاختتام ، ووافاه مصيرها المحتوم بفعل تزايد اكسجة الماء والهواء باطراد .

لقد كان لويس باستور (Louis Pasteur) الذي اكتشف ان اللاهوائيات المقتصرة تعجز عن تحمل تركيزات اوكسجينية فوق نسبة واحد بالمائة (١٪) من المستوى الجوي الحالي . وبعد اكسدة املاح وفلزات البحار وغازات الجو المنقوصة بدأت تركيزات الاوكسجين الطليق في الهواء تتجه نحو نقطة

باستور (Pasteur Point) ، ولربما ان مستوى الاوكسجين كان قد بلغ ارتفاعا خطرا على اللاهوائيات في الجو السائد قبل ألف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت، عندما افضى تغير البيئة الى ظهور اليوكاريوت.

الفصل الخامس - ظهور اليوكاريوت

لا يمكن أن يعيش في الحرارة العالية السائدة في الدهر الأركي غير أبسط أنواع الخلايا ، لكن هذا المناخ كان يبرد بالتدريج وفي ما قبل ألف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت كانت هذه الحرارة قد انخفضت من حوالي سبعين درجة (٧٠°) مئوية الى اثنتين وخمسين درجة (٥٢°) مئوية ، وهي درجة الحرارة الواقعة مباشرة دون نقطة التغير التلقائي لطبيعة البروتينات المشبكية^(١) (complex proteins) ونشأت الخلية اليوكاريوتية (Eucaryotic cell) عندما كانت درجة الحرارة الكلية قد هبطت الى مستوى يتناسب مع بنيتها الجزيئية والخلوية ، كما كانت اليوكاريوت (Eucaryote) ايضا افضل استعدادا وتهيئة للتعايش مع تواجد الاوكسجين المطلق مما كانت المتعضيات اللاهوائية.

ومنذ ظهورها بين ما قبل ألف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة والف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة خلت فصاعدا أخذت اليوكاريوت تعمل على رفع مقدرة تنظيمها الخلوي الجديد الثوروي، لكن طالما بقي الاوكسجين الجوي بنسبة أقل من واحد بالمائة (١٪) من مستواه اليوم، لم يكن ممكنا غير التآيؤ التخيري للكربوهيدرات فقط، واقتصرت على البقاء في المستوى المجهرى للخميرة (yeast) •

انما بعد انقضاء خمسمائة (٥٠٠) مليون على ذلك الزمن كانت بيئة الارض قد تعرضت لتحول ملحوظ وكانت اليوكاريوت تعكس هذا التغير فيما استمرت بنيتها الخلوية المشبكية (complex cellular structure) تتطور الى تركيبة (composition) أكثر كفاءة ، وبحلول زمن ما قبل سبعمائة وخمسين

(٧٥٠) مليون سنة خلت كانت قد بلغت مستوى التعقيد الموجود في القريات

• (Chitirozoans)

كان المناخ مستمرا في البرود وكانت البحار اشبه الى حد كبير بما هي عليه اليوم. لكن اشكال الحياة الموجودة كانت لا تزال كلها مقصورة على البحار ، بينما بقيت القارات جدياء مقفرة رغم انها كانت الآن تشغل ما يقرب من ثلاثين بالمائة (٣٠٪) من مساحة الارض وتتخللها الانهار والبحيرات انما بدون أية نباتات أو حيوانات . كما كانت فترة اليوم الكامل قد امتدت الى عشرين (٢٠) ساعة مع اربعمئة واثنين واربعين (٤٤٢) يوما في السنة الواحدة^(٢) ولم يعد القمر الآن تلك الكرة الرهيبة المتسلطة على سماء الليل ، فانه كان طوال العصور يتراجع عن الارض الى أن في حوالي نهاية الدهر ما قبل الكمبري كان قد امسى يبدو بحجم لا يتجاوز ضعف حجمه الحالي.

في حوالي هذا الزمن بدأت بعض الخلايا اليوكاريوتية تنبذ طرقها الوحداية وأخذت تتجمع في مستوطنات بمثابة مجموعة سائبة العلاقات. وخلال فترة قصيرة نسبيا اتخذت المستوطنة صفة خاصة بها فيما أصبحت الخلايا الفردية أكثر اعتمادا على كونها جزءا من المجموعة . كانت الخلايا تتفاعل مع بعضها بافراز كيماويات وايونات لها اثرها في التكوين البيوكيميائي المتحكم في التناسل والمنتجات لبعضها البعض . وبهذه الطريقة أصبحت الخلايا ضمن المستوطنة متخصصة ومختلفة الواحدة عن الاخرى في المجموعة، والمستوطنات التي أحرزت افضل النجاح بهذا التعايش الجماعي في تجميع المواد الغذائية والدفاع ضد الهجمات الخارجية تطورت وخلفت النزعة الوراثية للتباين اللازمة للتنظيم الاستيطاني.

ليس هذا الوصف للاوضاع تحديسيا مجردا ، فانه توجد اليوم منظومات



حية لا تزال في هذا الطور المتوسط من التنظيم حيث تصبح الخلايا مستوطنات متحدة ومتخصصة ، ولكن ليس الى الدرجة التي يمكن معها تصنيفها كمتعضيات متعددة الخلايا . كما يوجد بين الطحالب الخضراء شكل أحادي الخلية يشتمل على جيلة يخضورية (chloroplast) ونقرة عينية (eyespot) وسوطين اثنين (flagella) او تتوئين خويطين يستخدمان للتنقل وتحريك تيارات الماء . ضمن هذه الفصيلة (family) تقع الباندورينا (pandorina) التي يقوم بعضها بتشكيل مستوطنات تتألف من اربع الى اثنتين وثلاثين (٣٢-٤) خلية . وهذه المستوطنات ليست مجرد تكدسات ، لأن الخلايا تسبح بحركات متناسقة من اسواطها . والفونيوم (Gonium) فصيلة أخرى من هذه المجموعة التي تشكل مستوطنات .

وتتميز الفولفوكس (volvox) بتشكيل المستوطنات الأكثر رقياً ، اذ يقوم هذا الجنس (genus) من السوطيات (flagellates) الخضراء الباهتة بتشكيل مستوطنة من بين خمسمائة الى خمسين الف (٥٠٠٠-٥٠٠٠٠) خلية مرتبة في قبة أو كرة جوفاء يبلغ طول قطرها حوالي خمس البوصة (٥/١ انج) وبينما تبدو خلايا الباندورينا والفونيوم متشابهة تصبح خلايا الفولفوكس متخصصة، فالخلايا في مقدمة الكرة تملك نقراً عينية أكبر، وبعض الخلايا فقط تنسخ نفسها، وترتبط خلايا المستوطنة ببعضها البعض بأوهان وشعيرات رفيعة من الجيلة الاولى او البروتوبلازما (protoplasmic strands) . أما تناسخ او تكاثر المستوطنة فيتم عندما تقوم الخلايا في الخلف بالانقسام منتجة كرة صغيرة جديدة من الخلايا تطلق في باطن المستوطنة الأم، وعندما تموت المستوطنة المسنة تنفرج المستوطنات الشابة الى الخارج لتتشر وتكرر الدورة^(٢) .

من تشكيل المستوطنات كانت اليوكاريوت تعبر العتبة لتصبح التوالي



(Metazoa) أو حيوانات متعددة الخلايا • ومثلما توجد أخلاف من اغلب مراحل النشوء التطوري، توجد انواع (species) حية من هذه قاومت التغير وبقيت في البقع البيئية الملائمة لها والتي كانت سائدة في زمن انتشار ذلك المستوى من التطور ، والاسفنج حيوان يقع في الحد الفاصل بين التطور الاحادي الخلية والمتعدد الخلايا.

يتكون سطح الاسفنج من الاكتوسومات (Ectosome = أو الحلييات الجلدية) وهو طبقة او طبقات من الخلايا تتخلله مسامات دقيقة. والبدن مخطط بقنوات عديدة تمر الى ومن الحجرات السوطية كأقماع الخياطة الصغيرة مبطنة بخلايا تحمل اطواقا قمعية الشكل. تتناول الاسفنجة القوت والاكسجين بسحب الماء من خلال المسامات والقنوات الى الحجرات السوطية ذوات الخلايا الطوقية وتفرغه ثانية من خلال منافذ بينما تذرق الفضلات الناتجة من الهضم والتنفس بواسطة تيار الزفير.

يوجد على الساحل الشرقي لأمريكا الشمالية من نوبا سكوشيا الى كارولينا الجنوبية اسفنج صغير وجد ينمو اعتياديا على محارات من نوع مايكرشيونا بروفيرا (microciona prolifera) • يبدأ هذا الاسفنج الحياة كقشرة رقيقة ، ولكنه فيما يتقدم في العمر يرسل فصوصا رأسية كالأصابع لها فتحات كبيرة نوعا ما كمنافذ في منتهياتها، وتزايد هذه التنوعات في العدد كلما تقدم الاسفنج في العمر الى أن تشكل ما يشبه بعليقة ذات فروع متضافرة، وبعض الانواع تنمو الى ارتفاع ثماني بوصات (٨ انج)، ويتغير لون هذا الاسفنج موسميا ، انما في الصيف والخريف يبقى أحمر بلون الطماطة.

في عام ١٩٠٧ قام ايج في ويلسون (H.V. Wilson) ^(٤) وهو خير

بيولوجي من جامعة كارولينا الشمالية في تشابل هيل بتقضية صيفه في مختبر مكتب مصائد الاسماك للولايات المتحدة الكائن في مرفأ بوفورت يجري البحوث على هوائته الشخصية وهي انحطاط وتجدد الانسجة الحية (tissue) وبما انه كان على البحوث بقدرات التجدد العجيبة لدى الميكروشيونا بروليفرا، فانه اعتزم على اجراء التجارب على هذه الاسفنجية الحمراء الصغيرة . قطع الاسفنجية الى قطع صغيرة بمقص ورشح الانسجة من خلال قماش تنخيل دقيق . ثم جعل هذا القماش كال كيس يضم قطع النسيج تلك وغمره في وعاء من ماء البحر المرشح وعصره بجفت . انتضحت سحب حمراء من القماش الى الماء وبسرعة استقرت في القاع كرواسب دقيقة . وبعد تقطيع الاسفنجية وترشيح الخلايا التكوينية لها في وعاء من الماء، أخذ ويلسون يدرس بامعان سلوك الراسب .

وأثناء ما كان يراقب بدأت الخلايا تلتحم ببعضها ، وبعد فترة قصيرة كانت قد تكتلت في عدة قضاضات أو كريات صغيرة ، ثم امتدت تتواءت من الجيلة الاولى (protoplasm) او الاقدام الكاذبة (pseudopodia) الى سطح الوعاء وعندما تلامست هذه مع مجموعات أخرى من الخلايا التامت القضاضات معا لتشكل واحدة ، وفي الاخير التحمت جميع الكريات الخلوية في قشرة واحدة مفردة ، وبدأ تمايز الخلايا . وفيما تعاقبت الايام ، ظهرت حجرات سوطية بأعداد كبيرة موصولة بقنوات تشكلت في البنية، والآن بدأت انبوبات منفذية قصيرة تنمو رأسيا من القشرة، وبعد ستة أو سبعة ايام كانت الاسفنجية الصغيرة الحمراء قد جدت نفسها .

يأتي الاسفنج في أدنى مستويات التطور للحيوانات المتعددة الخلايا . لكن التجربة كانت رائعة في التدليل على ان التوالي تنشأ من خلايا حية فردية تتجمع بالتناسق بطريقة معينة لتخلق رتبة أعلى من الحياة . كما ايدت هذه



التجربة ايضا النظرية القائلة بأن الخلية الفردية هي الوحدة الاولى ذات الوظيفة التطورية.

بعد ذلك قام ويلسون باجراء التجارب على عينات من اللاحشويات (coelenterates) وهي الشعبة المعروفة على نطاق اوسع بالسماك الهلامي، وهي المرحلة الانتقالية التي أدت الى جميع شعب الحيوانات الاعلى. وبما ان بنية اللاحشويات تتألف من طبقتين من النسيج خارجية (Exoderm) وباطنية (Endoderm)، فانها أكثر تطورا من بنية الاسفنج. مع ذلك، عند تقطيع متعددات الارجل (polyps) الخاصة بالهداريات (hydroids) الى شظايا وعصرها في قماش دقيق، أخذت هذه الخلايا المقطعة تتجمع ايضا وتعيد ترتيب ذاتها انتقايا لتعيد تشكيل الحيوان الاصلي.

لم تسفر تجربة ويلسون الخلافة عن شيء يذكر طوال الثلاثين عاما التالية. وفي عام ١٩٣٩ قام يوهانيس هولتفريتز^(٥) (Johannes Holtfreter) الخبير البيولوجي من معهد قيصر ويليام في برلين، بتقطيع خلايا جنين ضفدعة في محلول خال من ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم. وعندما ترك الخلايا العالقة في المحلول لتسكن بلا حراك، بدأت الخلايا تنسق نفسها وفي الاخير اعادة تكوين الجنين الاصلي (embryo). وفي عام ١٩٥٢ قام أي وأيج موسكونا^(٦) (A. and H. Moscona) باجراء هذه التجربة على أجنة طيور، وتبعهما باحثون آخرون عملوا بنجاح على انسجة عينية من الثدييات. انما لاسباب سيأتي شرحها لاحقا، لا تنجح هذه التجربة الا على أجنة في مراحلها الاولى فقط.

ينمو جسم الانسان، وكذلك جسم أي فرد آخر من التوالي، من خلية واحدة، وهي خلية يجري نسخها تكرارا، أولا لتشكيل الانسجة بعمل طبقات

من نمط معين، ثم تنمو هذه الانسجة الى أعضاء (organs) • وبهذه الطريقة يقوم الجنين باعادة تمثيل المراحل النشوءية للتطور التي حصلت قبل مئات الملايين من السنين. وفي النهاية يبتني الحيوان التام البنية بكل صفاته الفردية من ملايين الملايين من الخلايا تعمل معا كوحدة واحدة • وقد قدر أن عدد الخلايا في جسم الانسان البالغ يقع بحدود عشرة تريليونات (أي عشرة مليون مليون في الحساب الامريكي، أو واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو خلاف التريليون الانكليزي المتألف من واحد متبوعا بثمانية عشر صفرا)، وجميع هذه تشق في النهاية من البويضة المخصبة الواحدة • ربما يبدو هذا الرقم كبيرا جدا، ولكنه ينشأ من فقط (٤١) جيلا من انقسام الخلية.

ان التباين أو التفاضل المتعدد الخلايا يعني زيادة كبرى في عدد الجينات (genes) لتفصح ليس فقط عن وظيفة خلية مفردة واحدة ، وانما عن وظيفة المتعضية برمتها • وتنشأ وظائف الحيوانات الاعلى من تفاضل الخلايا ، أي الخلايا المتخصصة لتوليد مختلف انواع الانسجة والاعضاء والعظام والشعر. ونظرا للطريقة التي نشأت بها التوالي من التكتل المنتظم لنسل خلية مفردة، فان كل خلية في الجسم تضم العدد التام من الجينات والصبغوسومات (chromosomes) للحيوان الكامل بأجمعه • وهي تختلف من حيث انه لا تظهر الجينات كلها ، انما يجري استخدام فقط تلك الخاصة بانتاج البروتينات الملائمة لوظيفة الخلية المعنية ، وتحجب جميع المواد الجينية الاخرى في الخلية المعنية من نسخ معلوماتها بواسطة بروتينات أساسية تسمى بالهستونات (histones) التي تترج بالجينة (gene) وتمنع استنساخها • وهكذا تمكنت الخلايا اليوكاريتية من انجاز وتنسيق الوظائف المختلفة من نفس الخلية اساسا واستطاعت التقدم من المرحلة الاحادية الخلية الى أشكال من الحياة أكثر تعقيدا.



استغرق التقدم من مستوى النسيج في تطور اللاحشويات الى حيوانات ذوات أعضاء فترة من الزمن قدرها حوالي مائة وخمسين (١٥٠) مليوناً من السنين ، لكن عندما تحقق الاقتحام كانت النتيجة تفجيرية • كان الصنف الجديد من نظام النسيج للتفاعل مع البيئة أكثر مرونة من اسلافه الخاملة نسبياً، وانتشر هذا الصنف من الحياة بسرعة في جميع انحاء العالم وساده • كانت هذه الحيوانات من المفصليات (arthropods) والرخويات (mollusks) وغيرها ، وقد طورت هياكل أو قشور خارجية (exoskeletons) من مواد قرنية أو اقباض متفلزة (mineralised shells) لوقاية أعضائها وأنسجتها الطرية ، ولكنها بقيت في اعماقها البحرية الواقية ، وكانت اليابسة لا تزال مقحلة •

وفيما كانت اليوكاريوت تواصل تقدمها بدأت احدى أعظم السلاسل الجبلية في تاريخ الارض ، وهي سلسلة جبال الابالاجيان الكالدونيان (Appalachian-Caledonian) بالتكون • وبين ما قبل الف ومائة (١١٠٠) مليون سنة وسبعمائة وخمسين (٧٥٠) مليون سنة كانت فترات طويلة من الترسيب قد رسخت الارصفة على هوامش امريكا الشمالية واوروبا ، لكن البحر العظيم العتيق الذي فصل الكتلتين اليابستين انكمش تحت تأثير قوى شديدة في باطن الارض التي دفعت القارتين نحو بعضهما ، وعندما اصطدمتا في النهاية تعوجت الارصفة الرسوبية المحصورة بينهما وتفتت وتطورت مندقعة الى أعلى في قمم شاهقة • وبفعل الحرارة والضغط تحول الحجر الجيري الى رخام، والسجيل الى الواح اردوازية وشستية ، والاحجار الرملية الى كوارتزيت، وكونت التداخلات الصحارية كتلا من الغرانيت • وبينما تحاتت جبال خمس أو ست احقاب أعققت من جبال الابالاجيان الكالدونيان وامحت من الوجود، بقيت سلسلة جبال الابالاجيان في شرق امريكا الشمالية وسلسلة جبال الكالدونيان في سكوتلندة ، بالرغم من تحاتها وتآكلها بفعل الماء المتواصل،

قائمة اليوم بين أقدم الجبال على الأرض •

اتهى الرشح الاخير من الدهر البرونيروزوي ، الذي بدأ دافئا ورطبا ، باردا وجافا فيما امتد التجلد أو التثلج (glaciation) فوق شرق كندا ودخلت الأرض في عصر جليدي آخر. انما مع بداية الحقبة الكمبرية أخذ المناخ يعتدل ويلطف • كانت درجة الحرارة الآن تقع في حوالي أربعا وثلاثين درجة (°٣٤) مئوية ، وربما كان الاوكسجين الجوي قد ارتفعت كميته عدة نسب مئوية فوق نقطة باستور ، وبدأت احياء من الثلاثيات الفصوص الشبيهة بالسرطان، الحدوي، والعضديات الارجل اللامفصلية (inarticulate brachiopods) والرخويات البدائية (primitive mollusks)، والشوكيات الجلد (echinoderms) اسلاف السمك النجمي (starfish) ، والحلقيات (annelids) من قبيل الديدان الشدفية (segmented worms) ، والمفصليات (arthropods) كالحراش (أم ٤٤ centipedes) بدأت تزحف في قيعان البحار •

تلت الحقبة الكمبرية، التي دامت فيما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة الى ما قبل خمسمائة (٥٠٠) مليون سنة ، الحقب الارذوفيشية (ordovician) وصحبها اتساع تشعبي كبير في اللاققرات الى أنواع وأجناس وفصائل جديدة ومختلفة • كان هذا عصر الحيوانات البحرية ذوات الهياكل والاقياض أو القشور المتقلزة ، والمرجان والسمك النجمي، والنجوم الهشة (brittle stars) ، والزنبقيات (crinoids)، التي استوطنت قيعان البحار الضحلة، وظهرت الرأسية الارجل (cephalopods)، كبعض القواقع والصدفيات المستقيمة والمنحنية والمتحوية ، الى الوجود ، ومن بينها ايضا النواتي (nautilus) الكثيرة الشبه بما هي عليه اليوم وهي ضوار رهيبة تجوب في أعماق البحار •

ومع حلول الحقبة الارذوفيشية قبل خمسمائة مليون سنة خلت، ومع البحار الضحلة تغطي مناطق واسعة من العالم ، بدأت النباتات البسيطة تكيف نفسها للحياة على هوامش البر اليابس . كانت هذه حالة جديدة ارتفعت فيها الخلائق الى تنمية مداعم بنوية تعينها على مقاومة الجاذبية وجهاز مسلكي أو وعائي (vascular system) لحمل سوائلها بالاتجاه العلوي الى أجزائها المكشوفة ، ثم في حوالي ما قبل اربعمائة وخمسين (٤٥٠) مليون سنة ظهر في المياه العذبة ما هو معروف اليوم باسم كولورادو (Colorado) ، وهو حيوان ربما كان بالأصل سمك عديم الفك . لكن أحافيره نادرة ومتشظية لدرجة ان شكل الحيوان الحقيقي غير معروف . وأحافيره موجودة في الاحجار الرملية في هاردينغ (Harding) كالواح مفككة ومنكسرة من البنية العظيمة ولكنها تدل على الفصيلة المفقودة ، وهي فصيلة الحبليات ذوات الفقرات ، (chordate with vertebra) ، أسلافنا القدماء .

بما ان معظم السجلات أو الآثار الاحفورية مستمدة من أصل بحري، فان قصة التطور في المياه العذبة والبر اليابس أكثر صعوبة للتجميع والترتيب . انما على ما يظهر حصل الاستيطان في القارات أثناء الحقبة السليورية (Silurian) فيما قبل اربعمائة وعشرين (٤٢٠) مليون سنة الى ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة خلت، والحقبة الديفونية (Devonian) في ما قبل ثلاثمائة وخمسة وتسعين (٣٩٥) مليون سنة الى ما قبل ثلاثمائة وخمسة وأربعين (٣٤٥) مليون سنة خلت . ربما بدأ هذا الاستيطان بالنباتات البسيطة وتبعتها الاحياء العنكبوتية (arachnids) ، والعقارب، واللافسيات الارجل millipedes . كان شمال امريكا منخفضا ومسطحا في هذا الزمن ، وذلك باستثناء الجبال والبراكين في شرقي الولايات المتحدة وكندا ، وكانت اوربا جبلية وذات أحواض قاحلة . وقد كان في حوالي ما قبل ثلاثمائة وسبعين

(٣٧٠) مليون سنة خلت قد قام أحد البرمائيين من اسلاف جميع الفقريات البرية، بما فيها الانسان نفسه، بالزحف من موطنه في المياه العذبة الى حافة ضفة نهريّة ووجد نفسه انه كان في غرينلندة، أو على الاقل هناك وجدت بقاياها الاحفورية بعد ثلاثمائة وسبعين مليون سنة من انقراضه.

أدى استيطان النباتات في البر اليابس الى حلول الحقبة الكربونية (carboniferous) التي دامت من ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة الى مائتين وسبعين (٢٧٠) مليون سنة مضت . نمت أشجار ضخمة بعضها تسامق الى ارتفاع مائة (١٠٠) قدم في الغابات المستنقعية في جميع انحاء العديد من القارات ، كما ضمت هذه المستنقعات ايضا انساب نبات الامسوخ أو ذيل الفرس (horsetails) ، والطحالب الرواصن (club mosses) والاشجار السرخسية (tree ferns) الموجودة اليوم، وكذلك عاريات البذور الصنوبرية البدائية (primitive gymnosperms of conifers) . كانت الحشرات متنوعة ومختلفة وشملت التين المجنح العملاق (giant dragonfly) الذي يبلغ طول جناحيه ثمانين وعشرين (٢٨) بوصة، وحرائش (millipedes) بطول خمسة (٥) أقدام، والصراصير والعقارب الضخمة. أما الاحياء الثلاثيات الفصوص فكانت الآن تشارف نهاية تاريخها الطويل ، وبين الفقريات كانت ايضا الكواسج الضخمة. كما كانت البرمائية ايضا موجودة وهي اسلاف الفقريات الهوائية التنفس المنحدرة من الحقبة الديفونية ، وكذلك الجوفاء الجماجم (synapsids) ، وهذه هي أقدم الزواحف (reptiles) المعروفة.

في أثناء الحقبة البرمية (Permian) التي تلت، أي ما قبل مائتين وثمانين (٢٨٠) مليون سنة الى مائتين وخمسة وعشرين (٢٢٥) مليون سنة ، كانت الجوفاء الجماجم ضارية مفترسة في الاصل وأصبحت سائدة بكثرتهاء ومن

أنسب هذه الفصيلة هي الثيرابسيد (therapsids) وهي حيوانات ضئيلة وتافهة ولكنها من الضواري آكلة اللحوم النشيطة . وخلال الحقبة الترياسية (triassic) ، أي ما قبل مائتين وعشرين (٢٢٠) مليون سنة الى مائة وثمانين (١٨٠) مليون سنة نمّت هذه الخلائق الصغيرة الاحجام غدا افرازية خاصة لتغذية صغارها بالحليب وأصبحت بذلك الثدييات الاولى .

أما القارات ، التي كانت تسف غلاف الارض ببطء كالكلاك أو طوافات هائلة من الغرائث، فانها كانت قد التحمت خلال المائة مليون سنة السابقة أوحواليها لتصبح قارة واحدة عظمى تسمى بالپانجيا (Pangaea) ، لكن في اثناء الحقبة الترياسية كانت الاجزاء التي ألقت شرقي امريكا الشمالية ونيوزيلندا تشهد اندلاعات هائلة من الانفجارات البركانية ، وازورت افريقيا وامريكا الجنوبية كوحدة وانفصلت من امريكا الشمالية مقسمة بانجيا بذلك الى لوراسيا (Laurasia) في الشمال وغوندوانالاند (Gondwanaland) في الجنوب، ثم انشطرت الهند وقارة القطب الجنوبي من افريقيا .

وعند حلول الحقبة الترياسية التي تلت الحقبة الجوراسية (Jurassic) ، كانت الاشجار العظيمة في المستنقعات النضحية قد تراجعت امام أشجار الجنكية (ginkgos) والسيكاسية (cycads) والصنوبرية (conifers) . ملأت الدينوصورات (Dinosacrs) تقريبا جميع انحاء الحياة البرية، مع العديد منها بأحجام عملاقة، ثم تكون أخذود أو شرخ عميق بين امريكا الشمالية واوروبا كان في البداية ضيقا صغيرا مثل البحر الاحمر أو خليج كاليفورنيا ، ولكنه كان بداية المحيط الاطلنطي، وارتفعت جبال امتدت من آلاسكا الى المكسيك بينما كانت الاندلاعات البركانية قائمة في الشمال الشرقي .

أما الحقبة الطباشيرية (Cretaceous) فانها شهدت ظهور النباتات المزهرة التي



كان لتكاثرها بتطاير بذورها في الهواء نتائج تفجيرية أدت الى انتشارها بسرعة في جميع انحاء العالم، وتبع النحل (Bees) في أعقابها، بينما كانت الثدييات ، التي عاشت تحت رحمة الدينوصور لفترة مائة وخمسين مليون سنة، لا تزال منزوية في الهوامش الجانبية فيما تكرمت تلك العمالقة في الانقراض.

ومع تدهور الدينوصور ونواله قبل سبعة مليون سنة خلت، انتفضت الثدييات لتصبح الحيوانات السائدة في الارض ، وجاءت الطاقة المركزة الكامنة في بذور النباتات المزهرة لتتيح حصول التايض السريع للطيران وأفضت الى نشوء الطيور. وفي غرب الولايات المتحدة كانت جبال اللاراميد (Laramide) ، وهي من سلاسل التكوينات الجبلية التي ابتدأت في أواخر الحقبة الديفونية (Devonian)، قد أخذت ترتفع الى أقصاها الذروي بفعل الاندساسات الصخرية الباطنية التي دمجت الحزام الهامشي بالقشرة القارية. قبل خمسة وستين مليون سنة كانت توجد حيوانات صغيرة تقطن الغابات لها هيئة وبنية السنجاب (squirrel)، لم تكن هذه قد بلغت بعد مرحلة التخصص في تسلق الاشجار ، ولكنها كانت بواكير المخلوقات العليا او المقدمات (primates) ، وهي قبيلة (order) منفصلة من الثدييات (mammalia) وفي أثناء الحقبة الاوليغوسينية (Oligocene) ما قبل اربعين (٤٠) مليون وخمسة وعشرين (٢٥) مليون سنة خلت تغطرت الارض عن جبال الالب والهمالايا ومعها نشأت النمر البارزة الانياب (Saber toothed tigers) لتفترس الثدييات الراعية وتعتاش عليها.

ثم جاءت الحقبة الميوسينية (Miocene) التي امتدت من ما قبل خمسة وعشرين (٢٥) مليون سنة الى ما قبل عشرة (١٠) ملايين سنة مضت وشهدت قيام



سلاسل جبال السيرا (Sierra) والروكيز (Rockies) • وباستثناء القوارض كانت جميع فصائل الثدييات المعروفة اليوم قد ظهرت الى الوجود • اشتملت الاحياء الحيوانية (fauna) على الغزلان والضباع (hyenas) والزرافات البدائية (giraffes) والبقرات (bovines) ، وبرزينها بشكل ملحوظ كلب دقي (beardog) هائل الحجم باسم امفيسون (Amphicyon) ، وانتشرت حيوانات المستودون (Mastodons) وهي اشباه الفيل بالشكل والحجم بائدة، الى المراعي العشبية في امريكا الشمالية لتتضم الى الخيول والجمال الناشئة فيما ازدادت حياة الرعي وطفئت على آكلة الاغصان والاوراق •

عندما حلت الحقبة البليوسينية (Pliocene) قبل عشرة (١٠) ملايين سنة خلت كانت المنطقة ما بين المدارين (tropics) باردة مصقعة وكانت الاراضي المشوشبة واسعة الانتشار ، وفي هذا العصر بلغت الثدييات أوج أحجامها وكثرتها. وفي حوالي منتصف هذا الحقبة، ما بين اربعة الى خمسة ملايين سنة خلت، ظهر كاسح (scavenger) في سهول افريقيا الشرقية لينافس الضباع هناك ما يمكنه اختطافه من فرائس الضواري الاشد منه قوة بكثير. كان هذا من المخلوقات العليا (primates) الميارة التي بقيت ملازمة التربة فيما تمكنت أخرى من تطوير طريقة حياتية فوق الاشجار • كان هذا ادردا أو عديم الاسنان وتنقصه سرعة اللواحم او آكلة اللحوم ، لكن دهاءه وسلوكه الجماعي منحاه ميزة أتاحت له الاستمرار في البقاء •

وأخيرا بدأ هذا المخلوق ينحت الاحجار لاستخدامها كأسلحة وأدوات، وتدل اسنانه على انه نشأ على غذاء من الجذريات (roots) والفواكه (fruit) والنقل (nuts) وغيرها من المأكولات التي استطاع الحصول عليها. لكن عبر هضمه ، فقد تعذر عليه اكل الفواكه الخضراء وبعض الاغذية الفجة

كما كان يفعل قرد البابون (baboon)، حمله الى اللجوء الى استعمال النار لتنضيج الاطعمة التي تعذر عليه أكلها نية بغية توسيع موارد الغذاء المتوفرة له.

وهذا بالطبع كان الانسان نفسه ، نشأ كنوع منفصل في زمن ما قبل حوالي أربعة الى خمسة (٤-٥) ملايين سنة خلت. كانت الحياة قد تواجدت منذ أكثر من ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ولفترة الفين وسبعمائة (٢٧٠٠) مليون سنة ، أو ثمانين بالمائة (٨٠٪) من ذلك الزمن ، بقيت على مستوى المتعضيات الاحادية الخلية ، ولم تظهر الثدييات الى الوجود الاخلال الاثنين بالمائة (٢٪) الاخيرة من فترة تواجد الحياة على الارض. وقد مضى (٩٩.٩٪) من تواجد الحياة منذ ظهورها في مجموعة شجرة التين وتشكيلة انفرواكت في جنوب افريقيا ، ولم يظهر الانسان الى الوجود الا في الواحد بالالف (٠.١٪) الاخير من عمر الحياة على الارض.

فلماذا استغرق الانسان كل هذه المدة ليظهر؟

ما الذي حصل خلال أكثر من الف مليون سنة مضت ، حين كانت حرارة المناخ قد أخذت تبرد ، والبحار تتأكسد ، وبدأ الاوكسجين يتراكم في الجو ، وكان من شأنه أن يؤدي الى اختلاق شكل حياتي خلوي متقدم للغاية على البروكاريوت؟ ولماذا أدى اختلاق تعدد الخلايا الى كل هذا التطور الانفجاري؟ ولماذا انحصرت الحياة في البحار لفترة ما يقرب من تسعين بالمائة (٩٠٪) من وجودها ، ولم تغامر في الامتداد الى اليابسة الا منذ بضع مئات من ملايين السنين فقط؟

ان وعينا واحساسنا بالفعل الطليق منفصلان عن خواص المواد الارضية بحيث ان محاولة الربط بينها واجتسار الفجوة العظيمة الفاصلة بين الطبيعتين تثير المخيلة وتقتدح القريحة . لكننا في محاولتنا هذه نقف ازاء منتوجات عدد



هائل من العمليات والتفاعلات الانتقائية التي دفعت النشوء التطوري عبر ما يقرب من اربعة آلاف (٤٠٠٠) مليون سنة . وعندما تتأمل نظام تركيبتنا البيولوجية نجد ان الطريق الى تواجدها لم يكن سهلا ممهدا ، انما نشأ بمراحل أشبه بطبقات هرم مدرج، وفي قاعدة بنيتنا الخلوية تكمن مرحلة أخرى من التطور استتبطت مستواها الخاص بها من التقدم والتعقيد.



الفصل السادس الطبيعة الخلوية للحياة

لقد عاش الانسان كنوع طوال فترة وجوده، ما عدا لحظاتها الاخيرة، مقيدا ضمن نطاق محدود أحاسيسه . انقبض من مدرج الاحجام وتقلص نحو الصغير الى ما دون الادراك، واتسع في الكبر حتى شمل الآفاق . فقد تواجد العالم البيولوجي في تنوع هائل، وكل نوع فسخ وجدد خاصيته التي كبرت في الحجم من الولادة الى البلوغ، وبدا ان ضمن أي نوع، لم يكن يوجد مكون ملموس اصغر من المتعضية بذاتها.

ان بعض المخلوقات ، مثل الحشرات الصغيرة ، بدت فعلا تظهر فجأة كأنما كانت قد عبرت من بعد آخره وبدون أي منشأ ملحوظ كان التولد التلقائي بالنسبة الى الدقيق المتملص اسهل للتصور من مستوى كامل من الوجود دون المرئي في قطرة من الماء . تصور، اذاً، نشوة الاحساس بالاكشاف في احرار السبق في الانتقال من محددات عالمنا الى عالم آخر، الى انحاء مأهولة بمخلوقات بشعة وأجنيبة . هكذا كانت خبرة انطون فان ليفنهوك

• (Anton Van Leeuwenhoek)

كان ليفنهوك بزازا في هولندا لا يملك أي تعليم أصولي انما شغفا شديدا بهواية سحج وصقل العدسات . تم اختراع المجهر (microscope) في عام ١٥٩٠ من قبل الاخوين الهولنديين فرنسيس وزكري يانسن (Francis and Zachary Janssen) عندما وضعا عدسة في كل من طرفي انبوبة وحصلا على تكبير بقدر عشرة أضعاف . لكن ذلك كان ابتكارا فجيا قلما أرقى من الزجاجاة المكبرة . أما ليفنهوك فقد صنع عدسات من نوعية راقية ذوات بعد بؤري قصير جدا وقوة تكبيرية عالية تبلغ من خمسين (٥٠) الى مائتين



وخمس وسبعين (٢٧٥) مرة، وقدرة توضيحية تفوق المجهر المركب الاول الى حد بعيد. كان يصقل عدسات من احجام مختلفة عديدة ، بعضها لا اكبر من رأس دبوس ، ويثبتها بين لوحين نحاسيتين رقيقتين، وفيما امعن ليفنهورك النظر من خلال عدساته في عينات من ماء المطر وماء البرك وكشيط من أسنانه، رأى عالما دقيقا غريبا يعج مكتظا بالحياة .

ولاول مرة في التاريخ دخلت «الحويئات الدقيقة جدا»، كما أسماها هو عند وصفه للبكتيريا والاوليات الاحادية الخلية ، الى عالم ادراكنا الواعي . كان ليفنهورك رجلا شديد الحب للاستطلاع يملك قوى بالغة للملاحظة الدقيقة المعنة، وقد اكتشف عالما جديدا انطلق يتجراه في كل فرصة سنحت له . رأى اشياء لم تثر قبلا قط ، وأخذ يشرح، في رسائل مطولة مسهبة الى الجمعية الملكية بلندن، ان السوس في الهري أو الانبار لم تكن تتولد من الحنطة بل كانت ديبا تتولد من بويضات دقيقة ، وان البراغيث تتولد بطريقة الحشرات المضادة ولم تنبت من الرمل او التراب، وان السمك الصدفى كان يتكاثر بطريقة البيض ولم يتولد عن الرمل ، وان بلح البحر (mussels) كانت أحيانا تأكلها حويئاته الدقيقة . عكف على دراسة الدورة الدموية في الوعية الشعرية في ذيل سمكة الجري، وفي القدم الوترية للضفدعة واذن الارنب، وكان يرسم في رسائله ويوضح الكريات الحمراء لثتى الحيوانات . وفي عام ١٦٧٧ وصف ولاول مره الحبيبات المنوية (spermatozoa) من الحشرات والكلاب والانسان ، وظل طوال خمسين عاما يتحرى ويصف للعالم الكون الفئان الساحر الذي اكتشفه في الجانب الآخر من عدساته .

وفيما كان ليفنهورك عاكفا على دراسة عالمه الدقيق ، لاحظ روبرت هوك (Robert Hooke) بواسطة مجهر خشن اولي ذي عدسات من الزجاج المصهور، المظهر المثقب في شرائح رقيقة من الفلين وأطلق على تلك الثقوب اسم الخلايا



(cells) • لكن الذي شاهده كان جدران الخلايا، ولمدة مائة وخمسين (١٥٠) عاما ظل الاعتقاد سائدا بأن هذه الملامح تؤلف البنية الاساسية للنباتات الى أن أدرك الخبير النباتي الالماني هوغو موهل (Hugo Mohl) ان أساس الحياة لم يكن جدار الخلية الذي رآه هوك، وانما المادة الشفافة شبه السائلة الموجودة في باطن الخلية، وأطلق على هذه المادة اسم البروتوبلازما (protoplasm) او الجبلة الاولى.

لكن خلايا الحيوان أصغر حجما لعدم احتوائها على جدران الخلايا كما في النبات وباستثناء بعض كالبيض والحيينات المنوية وكريات الدم، كانت اصعب للرؤية بواسطة المجاهر الاولى ، وتعذر اجراء أية دراسات تفصيلية دقيقة للخلايا الحيوانية الى أن قام ليستر (Lister) باختراع المجهر الماصح أو اللالوني في عام ١٨٢٧ • وبعد اربع سنوات من ذلك تمكن روبرت براون (Robert Brown) من لمح هنة او هباءة قائمة في جيلة خلايا النبات واكتشف النواة (nucleus) • ثم أدرك ماثياس شلايدن (Mathias Schleiden) في المانيا ان النواة لها علاقة بانقسام الخلية واكتشف ان هذه هي الطريقة التي تتأتى بها الخلايا من الخلايا الموجودة قبلا، أي ان الخلايا تتكاثر بالانقسام •

وبعد سنة ، عقب محادثة أثناء عشاء مع شلايدن ادرك خبير التشريح الالماني ثيودور شفان (Theodor Schwann) ان خلايا الحيوان التي كان عاكفا على دراستها كانت تسلك مثل خلايا النبات لدى شلايدن، فخطر له ان الخلايا هي مثل المتعضيات تقوم بانجاز جميع الانشطة اللازمة التي تقوم بها الميكروبات الاحادية الخلية ، وانها في الحيوانات والنباتات منظمة في وحدة جماعية متسقة متناغمة لتشكل متعضية كاملة على مستوى أعلى من الوجود. ثم على حين غرة وفي واحدة من اوسع التعميمات الشاملة في تاريخ العلوم

رأى شفان قاسما مشتركا أعظما لجميع الكائنات الحية وهو ان النباتات والحيوانات بأجمعها كانت مبنية من نفس الوحدة الاساسية وهذه هي الخلية. قام شفان بنشر افكاره في عام ١٨٣٩ في ورقة بعنوان «حول تماثل البنية والنمو في النباتات والحيوانات» وبذلك تم اقرار وتثبيت النظرية الخلوية للحياة.



الشكل ١/٦ - رسومات لقطعة من الفلين من كتاب هوب: «التصوير المجهرى micrographia». وهنا تشير A الى مقطع مستعرض و B الى مقطع مستطيل.

ان الخلية هي أصغر منظومة بيولوجية مستقلة قائمة بحد ذاتها، وهي أساس الحياة ، وجميع الكائنات الحية تتألف أما من خلية مفردة أو من توليفة من الخلايا، وبالنتيجة فإن الخلية هي ماكنة بيوكيميائية قادرة على التناسخ الذاتي. وعند توفر مصدر للطاقة والمواد الخام الضرورية بوسع الخلية أن تشيد مكوناتها الخاصة وأن تقوم بنسخ ومكاثرة تركيبها برمتها. وعند التأمل في أمر ان عدد العناصر أو المقومات الفردية (constituents) فيها يمكن أن يمتد الى عشرات الآلاف كلها معبأة في كرة متناهية في الصغر تحتاج الى التكبير عدة مئات من المرات لجعلها مرئية، فإنا نجد انها عبوة عجيبة للغاية حقا.

عند النظر اليها من خلال مجهر ضوئي تقليدي تبدو جميع الخلايا بشكل كبسولات أو سنقات متألقة من مواد شفافة ومتجانسة الى حد كبير. والبنى الوحيدة التي يمكن تمييزها هي الجسيمات المتلونة كالجيلة اليخضورية (chloroplast) في خلايا النبات التي تتضمن اليخضور (chlorophyll) ، أو مواد مصطبغة كما في الخلايا الحيوانية . وللتمكن من دراسة الخلايا يتحتم على الخبير المجهرى استعمال صبغات كيمياوية مختلفة لتلوين أو تفتيح ملامح منتقاة في باطن الخلية . وظلت هذه الطريقة الوحيدة لدراسة تركيبة الخلية وانشطتها طوال أكثر من قرن واحد.

وحين بدأ الخبراء البيولوجيون في القرن التاسع عشر بمعاينة العالم المجهرى وجدوه مكتظا بشتى انواع المتعضيات الاحادية الخلية تقف أساليبهم التصنيفية ازانها عاجزة . كانت الكائنات الاولى (Protozoa) وهي حيوانات احادية الخلية ذوات خلايا كبيرة ومعقدة نسبيًا . فقد كان بينها البكتيريا، وهي أصغر حجما وأبسط تركيبة ، كما كان بينها الطحالب والفطريات . كانت تنوعية غريبة من المخلوقات متواجدة على مستوى يتغوش فيه التمييز

بين الحيوان والنبات منها. لكن بين جميع المتعضيات الاحادية الخلية ، كانت البكتيريا والطحالب الخضزرزرقاوية فقط لا تتضمن نواة متضحة وبالنتيجة جرى تصنيفها معا في رتبة منفصلة عرفت فيما بعد بالبروكاريوت ، بينما تضمنت خلايا جميع النباتات والحيوانات الاخرى نوى مغلقة في أغشية وأسيت هذه بالخلايا اليوكاريوتية.

مر المجهر الضوئي خلال العديد من التحويرات والتجديدات عبر سنوات القرن بهدف تحسين قدرته، وظهرت مجاهر اختصاصية منها المجهر ذو التباين الطوري، والمجهر الاستدلالي، والاستقطابي، وذو المدى القاتم، لكن الاوصاف التفصيلية بقيت على الدوام بعيدة عن متناول الرؤية بشكل محزن مؤلم . وبما ان الاتضاح يتوقف على طول الموجة الضوئية فقد كان هذا مقتصرا على ما يقرب من (٠.٢٤) من الميكروميتر ($\text{micrometre} = 0.001 \text{ m}$) أو واحد بالالف من المليمتر) ولما كان طول قطر البروكاريوت يتراوح ما بين (٠.٣) الى (٢.٠) ميكرومتر، والخلايا اليوكاريوتية بتركيبها الاكثر تعقيدا أكبر من ذلك بنحو عشر مرات، فقد كان بوسع التحليل الايضاحي في تلك المجاهر أن يبين الخلية انما لم يكن من الدقة بما يستطيع بيان التفاصيل البنيوية .

ثم في عام ١٩٢٤ طرح لويس ديبروغلي (Louis de Broglie) وجوب انتقال الالكترونات (electrons) في موجات خاصة بها كالضوء مع كون طول الموجة متناسبا عكسيا مع جذر الفلطية، ونظريا بإمكان الحزم الالكترونية (electron beams) أن تتألف من اطوال موجية اقصر بكثير مما في الضوء، وعليه فان المجهر العامل بالالكترونات سيكون أقوى وأوضح بكثير من المجهر العامل بالضوء، وان حزمة الكترونية بقوة مائة (١٠٠) كيلوفولط تعطي ايضا

تفصيليا أقوى منه بالمجهر الضوئي بنحو مائة واربعين (١٤٠) ألف مرة. وعلى أساس هذه النظرية تم بناء أول مجهر الكتروني في ألمانيا في عام ١٩٣٢ مجهزا بعدسات مغنطية وانتجت شركة سيمنس هالسكة نموذجا تجاريا منه في عام ١٩٣٨.

جاء المجهر الالكتروني ليفجر الاوضاع ويحدث انقلابا ثوريا في معرفة السبل التي تنتظم بها الخلايا، وأوضح ان الفارق بين النوعين من الخلايا كان أعظم من مجرد وجود أو انعدام النواة ، وكان اختلافا بالغا في البنية دون الخلوية أو الفرع خلوية (subcellular) . وبعد الاطلاع على مدى تعقيد البنية والكيمياء في الخلايا اليوكاريتية ، غدا واضحا ان الفارق بين الخلايا البروكاريتية والخلايا اليوكاريتية كان عظيما لدرجة لا بد أن نشأة وتطور هذه الاخيرة كان بمثابة خطوة كبرى في عملية النشوء.

كلا نوعي الخلايا مغلف بأغشية ماثلة في بروفيلها (profile) أو مظهرها الجانبي وتنقسم تحت التكبير العالي الى بنى ثلاثية الطبقات تبلغ سماكتها نحو (٨٠٠ ر) من الميكرومتر . لا توجد وحدات غشائية التغليف في الخلايا البروكاريتية ، وتظهر المادة النووية والجيلية الخلوية أو السيتوبلازما (cytoplasm) متسقتين وغير منفصلتين، وتتألف الوحدات البنيوية الرئيسة من جسيمات (particles) دون خلوية (subcellular) يبلغ قطرها حوالي (١٠ ر) من الميكرومتر تعرف باسم الريبوسوم (ribosomes) يتم فيها تمثيل أو تصنيع البروتينات . (والريبوسومة سكرة خماسية مشتقة من حوامض النويك وصيغتها الكيميائية $C_5H_{10}O_6$).

أما الخلية اليوكاريتية ، من جهة أخرى، كما انكشفت تحت المجهر الالكتروني، فانها ليست سيتوبلازما متجانسة (homogeneous) ، وانما متاهة



(labyrinth) من المقاطع تفصلها الاغشية . وهذه المنظومة من الاغشية ناشئة عن تلافيف الغشاء الخلوي الذي يجعل جميع الاغشية متواصلة ببعضها . وفجوة الخلية محاطة بالغشاء تتضمن حوامض النوويك والبروتينات . كما توجد في مناطق أخرى من الخلية بنى منتظمة منفصلة تسمى بالاورغانيل (organelles) التي تلعب ادوارا نوعية في الوظائف الخلوية ، ومنها الريبوسومات التي تقوم بتمثيل البروتينات ، والميتوكوندريا كمصادر طاقة الخلية حيث أكسدة حامض البيروفيك (pyruvic acid) الى ثاني اوكسيد الكربون والماء كطاقة تستخدمها بقية الخلية . ويوجد فيها ايضا ما يسمى بأجسام غولجي = Golgi bodies وهي بنى في جيلة او سيتوبلازما الخلية تشارك في عملية تصنيع الغذاء في الخلية ، والليسومات (Lysosomes: جسيمات في السيتوبلازما تتضمن عددا من الانزيمات الهضمية لها وظائف تحليلية)، وغيرها .





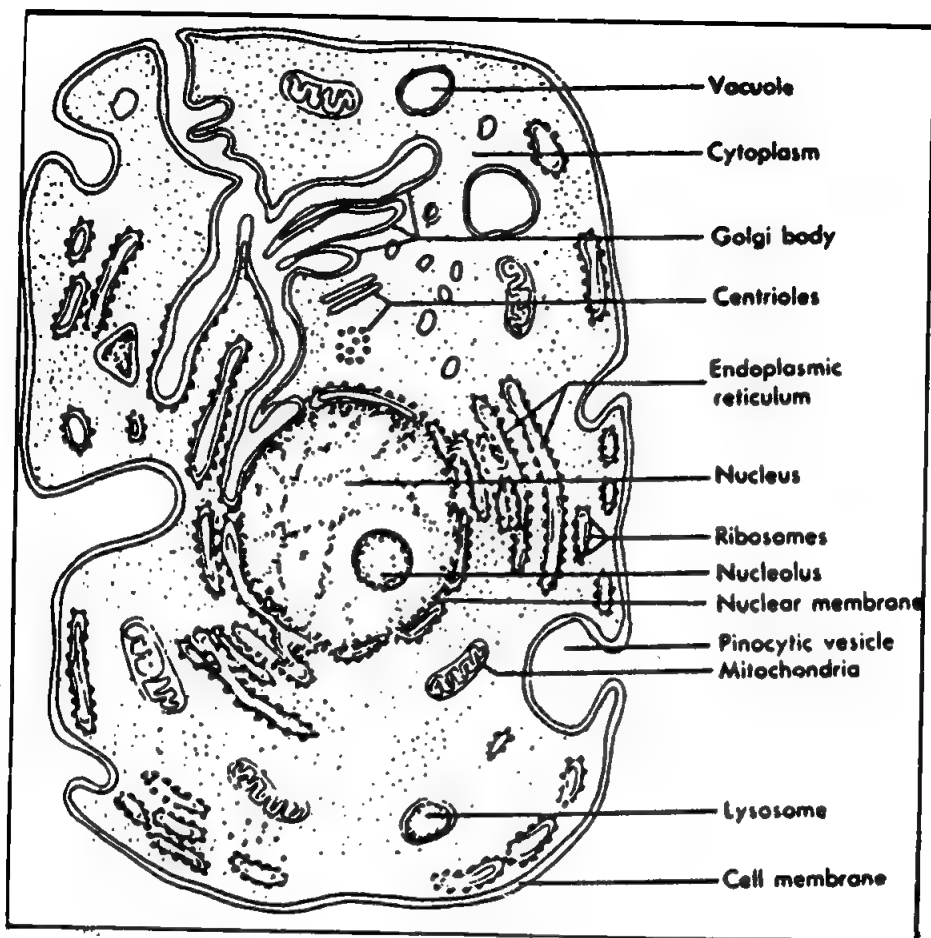
الشكل ٢/٨ - مقطع عرضي للجزء الرئيس لخلية ثديية مرئي من خلال مجهر
الكثروني يوضح النواة وغشاء النواة ومنطقة النواة . كما تظهر في السيتوبلازما
الغويصلات والميتوكوندريا . والخط الافقي في اسفل الزاوية اليمنى يمثل
الف نانومتر (١٠٠٠ nm) ، و يبلغ هذا التكبير (٧٥٠٠) ضعف.

إن النواة (nucleus) هي موقع التخزين للطبقة (bluepoint) لتناسخ أو كاثرة كل المتعضية برمتها. تأتي هذه في الخلية اليوكاريوتية كأورغانيلة متميزة واضحة ، بينما في الخلية البروكاريوتية ينقصها الغشاء النووي وتطفو بطلاقة في السيتوبلازما ، والمعلومات الوراثية للخلية مخزونة في التركيبة الكيميائية ذات بوليمر خطي طويل يسمى بالحامض الخلوي

الصبغي دنا (Deoxyribonucleic DNA: acid) *
يؤلف حامض دنا الجزيئة المعلوماتية للمنظومة الحية ، وتقوم بنيتة المسترة (coded structure) بتعين سياق الحوامض الامينية في البروتينات، أما البروتينات هي التي تخلق المتعضية ، وهي بمثابة العمال الذين يجعلون كل ذلك ممكنا . فالبروتينات هي التي تقوم بتكوين البنية ، ونقل المواد، وتنظيم العمليات ، وفوق كل شيء، هي الانزيمات التي تقوم بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية. ويترتب على جميع الخلايا ، سواء كانت بروكاريوتية أم يوكاريوتية، على تمثيل البروتينات ، وهي مهمة يتم انجازها في جسيمات صغيرة دون خلوية تسمى بالريبوسومات.

يبلغ طول قطر الريبوسومة اليوكاريوتية حوالي (٢٥٠٠٠) من الميكرومتر. ولها وزن جزيئي يبلغ اربعة ملايين (٤ ٠٠٠ ٠٠٠) في المتعضيات العليا، ومليونين وسبعمائة ألف (٢ ٧٠٠ ٠٠٠) في البكتيريا^(١). وكل ريبوسومة تتألف من وحدتين فرعيتين (subunit) اثنتين ، يقع حجم احدهما تقريبا بضعف حجم الاخرى، تضم الوحدة الفرعية الاصغر جزيئة كبيرة من حامض الريبونويك ودنا (RNA: ribonucleic acid) بينما تضم الوحدة الفرعية الاكبر جزيئتين دنا غير متساويتي الحجم. بالإضافة الى ذلك يوجد حوالي عشرين (٢٠) بروتينا مختلفا في الوحدة الفرعية الاصغر، وأربعين (٤٠) في الاكبر. وبقدر ما قد أمكن التثبت منه تتواجد البروتينات بجزيئة واحدة لكل منها.





الشكل ٢/٨ - رسم لخلية يوكاريوتية

والترتيب الوظيفي لمكونات الريبوسومة نوعية اختصاصية للغاية .
ويتجلى هذا الاطراد التنظيمي بحقيقة انه قد تمت بلورة بعض الريبوسومات،
كما يمكن ايضا على سبيل المثال استحثاث ريبوسومات أجنة الطيور على
التطور بمجرد تبريد الخلايا (٢) .

وعلى عكس الريبوسومات لا تظهر الميتوكوندريا الا في خلايا اليوكاريوت .
والميتوكوندريا هذه جسيمات سحبية الشكل يتراوح عرضها ما بين نصف
الى ميكرومتر واحد (٥-١٠)، وطولها ما بين خمسة الى عشرة (٥-١٠)
ميكرومترات، وهي محاطة من الخارج بغشاء كيسي (thylakoid) ومفصولة
الى سلسلة من الحجرات بواسطة أغشية باطنية تسمى بالمسحات الدهنية
(christae) ، وعدد المسحات الدهنية في الخلايا النباتية أقل منه في الخلايا
الحيوانية ، ويتراوح من واحدة في الطحلبة الاحادية الخلية (microsterias)
الى خمسمائة الف (٥٠٠ ٠٠٠) في الاميبة العملاقة كاؤس كاؤس
(chaos chaos) .

عند النظر الى الميتوكوندريا في خلية حية تبدو انها في حالة حركة
مستديمة، وتشكل المراكز التنفسية للخلية ، ويتم تأييض الكربوهيدرات
والدهون ، والى حد أقل البروتينات في هذه الميتوكوندريا لتزويد الطاقة الى
الخلية . وفي سلسلة من التفاعلات الكيميائية تحفزها الانزيمات تتم تجزئة
المواد ذوات الطاقة الكيميائية الأعلى الى مركبات ذوات طاقة كيميائية أقل،
ويستخدم فارق الطاقة لتمثيل جزيئة أتب العالية الطاقة $ATP =$ ثلاثي
فوسفات الادينوسين) ان الأتب هي المادة الكيميائية الغنية بالطاقة التي
تقوم الميتوكوندريا بتوزيعها الى مواقع التمثيل المختلفة لتنشيط المركبات
لتحويلها الى بنى كيميائية أخرى .



في النباتات الخضراء تتألف الارغانيلة التي تعمل على التفاف ضوء الشمس من جسيمة معقدة بنويها تسمى بالكلوروبلاستة او اليخضور (chloroplast) ، ويتباين عدد اليخاضير في خلايا النباتات ، ففي بعض الطحالب مثل السيروجيرا الشعيرية (spirogyra) يوجد يخور مفرد واحد فقط ، بينما قد يوجد ما بين ثلاثين الى اربعين (٣٠-٤٠) يخورا في كل خلية في الجزء الاسفنجي من شرنقة العشب .

نشأت اورغانيلات أخرى في الخلايا اليوكاريوتية مع تزايد اشكال الحياة في التعقيد . فعلى سبيل المثال ان جهاز غولجي (Golgi apparatus) يتألف من منظومة من الاغشية تستخدم في رزم أو تعبئة البروتينات لافرازها ، مثل الانزيمات الهضمية . تتم مراكمة هذه البروتينات في جهاز غولجي ثم تضاف اليها الكربوهيدرات ، ويجري تغليف عدد كبير من الجزيئات في الغشاء الواحد . بعد ذلك تنقل العبوة الى حافة الخلية حيث ترح محتوياتها الى الخارج .

والليسوسومات جسيمات تقع بحوالي حجم الميتوكوندريا انما بدون البنية البالغة التنظيم . وهذه الاورغانيلات مجلات (sacs) من الانزيمات الهضمية التي يمكنها تفكيك بروتينات وحوامض نووية كبرى ، ولم يكتشف غرضها حتى مؤخرا ولكن ادراكه أباط اللثام عن تنامي تعقيد الخلية البيولوجية . ان المكونات الجزيئية لجميع الكائنات الحية في حالة تدفق دائم ، وتجري تجزئة واستعاضة المقومات باستمرار ، وحتى البنى المتناهية في التنظيم كالمتوكوندريا لها وجود زائل . فعلى سبيل المثال ان مدى عمر ميتوكوندريا الكبد يتراوح ما بين عشرة الى عشرين (١٠-٢٠) يوما . انما لم يتضح في الحال السبب المؤدي الى هذا الوضع .

لكن السبب يتعلق بتخزين المعلومات . فان بنى الجزيئات البوليمرية في



الخلية والوحدات دون الخلوية ناتجة عن عدد هائل من تنف المعلومات ، ويتوجب أن تكون كل تفرسة في غاية الدقة لتكون محكمة الكفاءة . فالمنظومة المكلفة باصلاح العيوب التي تحصل ستتطلب منظومة معلوماتية من نفس الجسامة تقريبا . لذلك فانه من الابلط أن يتم تعويض البروتينة او الاورغانيلة الناقصة بأخرى جديدة التصنيع، وعليه متى ما تبدأ فعالية أحد المكونات الخلوية بالتعثر ، تقوم الليسوزومة بفصل ذلك الجزء في الحال ويجري تلقيم خطامه في فرن ميتوكوندريونة سليمة لتزويد الوقود الى عمليات التمثيل الاخرى^(٣).

الليسوزومة وظيفه اضافية أخرى . فعندما تموت الخلية تنفجر مجلة الليسوزومة وتقوم الانزيمات المنطلقة بهضم البيوبوليمرات الخلوية وتعيدها الى وحداتها المونومرية ، وتمحي بذلك التنظيم الكيميائي الذي جعل الخلية كيانا بيولوجيا ، وتعيد اللبئات البنائية للاستخدام مرة أخرى .

جميع الخلايا مغلفة في بنية غشائية لها خواص فريدة لاحتواء المكونات الغلوية والعمل بمثابة حاجز ترشيحي الى البيئة الخارجية، ومن الخواص الشائعة للاغشية الغلوية هي طبيعتها البروتين دهنية، وبالنسبة للدهنيات تملك الفوسفودهنيات خواص تجعلها ملائمة خصيصا للغشاء .

عندما نشأت اليوكاريوت احتفظت بالبنية الخلوية للغشاء ووسعتها الى حد كبير، وعند معاينتها في مجهر الكتروني تظهر الخلية اليوكاريوتية كمحيار من المقاطع أو الاقسام تضم السيتوبلازما والجسيمات دون الخلوية . تنوغل انعمادات الغشاء عميقا في الخلية وتتلوى منظومة الغشاء السيتوبلازمي الدقيقة التفاصيل خلال الخلية كتسمة لغشاء الخلية . وهذه المنظومة المعقدة للغشاء ، شبكية الجبله الباطنية ، تعمل على أكثر من مجرد زيادة المساحة السطحية ، فهي الآن تعتبر جزءا مهما من الخلية لتصنيع المنتوجات الخلوية .



توجد بداخل البنية انزيمات تقوم بالتحكم في التفاعلات الواقعة في أجزاء استراتيجية من الخلية. وشبكة الجبله الباطنية تشكل تحويرا تكييفيا رئيسا للخلية اليوكاريوتية معدوما في خلايا البروكاريوت، وعلى ما يظهر ان مرورها من خلال باطن الخلية يتيح بعض النقل المباشر لجزيئات وايونات مختلفة من قسم الى آخر في الخلية • وحتى الى خارج الخلية.

ويمائل تعقد الخلية اليوكاريوتية طريقتها في التكاثر المسماة بالتخييط أو الانقسام الفتيلي (mitosis) • ربما يبقى دنا (DNA) اليوكاريوت عائما في السيتوبلازما كوهن طويل (straud) مربوطا في أنشوطه (loop) يلتف دنا اليوكاريوت في صبغيات (chromosomes) تبدو كخرز منظومة في خيط، وكل صبغية تتضمن مجموعة معينة من الجينات (genes) • يتباين عدد الصبغيات باختلاف الانواع، فذبابة الفواكه لها ثمان (٨)، والبصل ست عشرة (١٦)، والانسان ست وأربعون (٤٦)، والسائمة ستون (٦٠) •

يبدو أن النواة تبقى بنية متجانسة اثناء ربح كبير من عمر الخلية اليوكاريوتية ، وذلك باستثناء مساحة كروية منفصلة صغيرة في باطن الاورغانيلة تسمى بالنوية nucleolus :وهي جسم ظاهر يتألف من البروتين مع بعض رنا (حامض الريبونويك) عادة كروية الشكل تقع في باطن النواة (nucleus) • يبدو ان النواة nucleus تبقى خالية من كل نشاط اثناء مرحلة الاستراحة أو الهجوع مع الصبغيات منتشرة في فوضى ضاربة • غير أن هذه هي الفترة التي يجري فيها تجميع الكيمائيات المونومرية (monomeric chemicals) لاستنساخ جزيئة الدنا (DNA molecule) •

وعندما يحل ميعاد التكاثر يبدأ زوجان دقيقا البنية من الوكائت، أو السنتريولات (centrioles) ، يقعان مباشرة خارج النواة ، يبدآن بالابتعاد



عن بعضهما، وفيما يفعلان ذلك يمدان بينهما خيوطا سهامية (gassamer threads) تسمى بألياف المغازل (spindle fibres) • وعندما تتحرك الوكائت (centrioles) نحو طرفي الخلية المتقابلين تبدأ الصبغيات بالالتفاف والتكثف.

آنذاك يبدأ غشاء النواة بالتصدع والتفتت متيحاً للمغازل الامتداد عبر الخلية كلها، وبهذا الوقت تكون الصبغيات قد تشكلت في بنى قضيبية واضحة فتلتصق المغازل بالاجسام الصغيرة فيها. بعد ذلك يتم سحب الصبغيات الى خط استواء (equator) الخلية حيث ترتصف كالتقاق لتتقسم بالتساوي بين الخليتين الابنتين.

ومتى يتم الانقسام بين الصبغيات تبدأ المغازل بلفها نحو قطبي الخلية. بعد هذا تسترخي الصبغيات من فلكاتها أو حوياتها (whorls) المكتنزة • وفي اثناء ما تبدأ الصبغيات بالانحلال من تلافيفها والامتداد يجري تفزيل (spun) نووي حول كل مجموعة، وبعد ذلك يتجمع الغشاء النووي معا في الوسط وينفصم وبذلك يفصل الخلية الاصلية الى خليتين ابنتين مستقلتين تامتين.

تستغرق الخلية البشرية حوالي ثماني عشرة ساعة للتجدد بينما تعد هذه الفترة بالدقائق بالنسبة الى البكتيرة، أي ان هذه تتجدد في خلال ثماني عشرة دقيقة بدلا من ساعة! لكن الدنا البكتيري هو بمثابة صبغية مفردة تتألف من حوالي الفين وخمسمائة (٢٥٠٠) جينة مع ما يقرب من مليون مونومرا منظومة معا في بوليمر (polymer) 'وليمر' (linear)، يبلغ طوله عند مده بتمامه ما يقرب من مليمتر ونصف (١.٥ ملم) • ومن جهة أخرى، يمكن ان يتضمن دنا الخلية الثديية مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) جينة ويتألف من بوليمر يتضمن اربعة آلاف مليون (٤٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) مونومرا ويبلغ طوله عند مده على تمامه خمسين (٥٠) بوصة.

تتضمن البروكاريوت على البكتيريا، والسيانو بكتيريا، والكلوروكسي بكتيريا^(٤) (chloroxybacteria) الحديثة الاكتشاف ، وبعض المتعضيات المتعددة الخلايا مثل الاكتينوبكتيريا والميكسوبكتيريا المثمرة (actino bacteria fruiting myxobacteria) . أما اليوكاريوت فتتضمن على معظم المتعضيات المألوفة بما في ذلك مثل حوامل البحر (seaweeds)، والاوليات (protozoa) والفطريات (fungi) ، والنباتات والحيوانات. تمتلك البروكاريوت مسالك تآيضية (metabolic pathways) للتجزئة التخمرية للمواد العضوية ، واختزال أو تثبيت ثاني اوكسيد الكربون والنيتروجين الجوي، وأكسدة كبريتيد الهيدروجين الى كبريت، والتمثيل الحيوي (biosynthesis) للحوامض الدهنية ومشتقات الايسوبرين مثل البورفرين (porphyrins) . مع قيام اليوكاريوت جاء التنفس الهوائي والتمثيل الاستيرويدي (steroid synthesis) . (الاستيرويد هو أحد مجموعة من المركبات تشمل الستيروول وهو من الكحول غير المشبعة مثل الكولستيروول، والحوامض الصفراوية والهرمونات الجنسية وغيرها).

تمثل هذه المسالك، مع الآليات الخاصة لاستنساخ وتمثيل الجزيئات الضخمة (macromolecules) أغلب الانشطة الخلوية الاساسية لجميع الكائنات الحية قاطبة. وبما ان هذه تتواجد حتى في المتعضيات المجهرية فاننا بالحتم نواجه الادراك الرهيب ان الفوارق التي قيمها بين أنفسنا وبين الاشكال الأخرى من الحياة ليست في الحقيقة بالاهمية البيولوجية التي نشتهي أن نعتقد ، وان جميع الابتداعات البيوكيميائية العظمى كانت قائمة في الوجود قبل ظهور أية نباتات وحيوانات، وقبل أن تتضمن القارات اية حياة ، وقبل ان تطور الخلايا وسائل تعدد الخلوية.



الفصل السابع الريادة الجزيئية

يتألف جسم الانسان من حوالي عشرة تريليونات من الخلايا (التريليون الامريكي هو الرقم واحد متبوعا باثني عشر صفرا، وهو المقصود بلفظة التريليون في كل هذا الكتاب). وكل خلية تعمل كالمعضية الاحادية الخلية تقوم بتناول المواد الغذائية وتديم تواجدھا فيما تقوم بانجاز وظيفة نوعية معينة في خلقة الشخص الكلي. ومن التألف المتناغم البالغ التعقيد للوظائف الخلوية يتأتى الوعي والاحساسات والعمليات الحياتية التي تتيح لنا التواجد في عالمنا الابعادي. وفي مرتكز وأساس التعقد العددي والسلوكي لوجودنا تكمن الوحدة الذاتية الكينونة ، الاوهي الخلية.

ان الوحدة الاساسية الجوهرية لتركيبتنا هي الخلية اليوكاريوتية وهي بالغة في الصغر تتعذر رؤيتها بالعين المجردة ويتوجب لرؤيتها تكبيرها عدة مئات من المرات. لكن حجم وتعقد اليوكاريوت أعظم من مثليهما في البروكاريوت بألف مرة. وبالرغم من تناهيها في الصغر فان البروكاريوت ليست بذاتها عنصرية (elemental) . فهي ايضا وحدات ذاتية الكينونة تنبع حيويتها وتكاملها من التألف التناغمي لمقومات من رتبة أخرى تكمن في قاعدتها الاساسية.

والبكتيريا تؤلف أبسط اشكال الحياة . وعبر هوة الى أعماق الصفر التي يعجز عن الوصول اليها حتى المجهر الالكتروني يوجد عالم هائل يعج بالاحياء يربط ما بين الحياة والجماد . وقد كان من هذا العالم ان نمت الوحدات البنوية التي خلقت المنظومات الحية ، وهذه الوحدات البنوية هي الجزيئات الكيميائية .



لقد اضطر علم الكيمياء بذاته أن يتطور على مدى مائتي سنة قبل أن يتمكن من معالجة الكيمياء المعقدة للمنظومات البيولوجية ، وبحلول القرن الثامن عشر كان العلماء قد ارسوا العديد من مبادئ الكيمياء والفيزياء التي كانت صائبة بالنسبة الى المواد اللاعضوية لكن تعقيدية المنظومات البيولوجية وطبيعتها التوارية بديتا تستثيانها من منطق هذه المبادئ والقوانين الفيزيائية الملموسة . وتم اقرار هذا الرأي رسميا في عام ١٧٠٧ عندما أعلن الطبيب الالماني جورج ارنست شتاهل (Georg Ernst Stahl)* النظرية بأن الحياة تخضع لقوانين خاصة لا مادية . كانت هذه النظرية الحيوية التي نصت على ان جميع الكائنات الحية تتضمن قوة حية ، وهي قوام لا مادي غير قابل للفصل يقوم بتوجيهه واتاحة انجاز وظائف جميع العمليات الحياتية.

كان الكيميائيون الاولون يدركون ان المواد من الكائنات الحية كانت بوضوح تختلف عن العالم الفلزي وتقع في فئات متميزة . فالنشاء الابيض الطباشيري يستخرج من القمح والبطاطا والرز ويستخدم في تجسئة ياقات الاعيان، وتستخرج الزيوت من النباتات والحيوانات للاستعمال في الاغذية وكوقود لمصاييح الاضاءة ولما كانت الدهون والشحوم غير قابلة للذوبان وزيتية الملمس، فانها جمعت معا في صنف الدهون (lipids) . ثم جاءت مجموعة ثالثة وجدت في الاغذية المغايرة للصنفين الآخرين ، وكانت هذه المواد الزلالية او الانبومينية السائلة الموجودة في آح البيض والحليب والدم . وكانت مفردات هذه الفئة غير مستقرة بوجه خاص وتخرت عند تسخينها .

على تقيض أغلب المركبات اللاعضوية كانت متوجات المتعضيات غير مستقرة ازاء الحرارة وتتغير عند التسخين تغيرا ثابتا لا رجوع فيه، واغلبها غير قابل للاحتراق . بين التحليل العنصري ان النشأ تألف من الكربون



والهيدروجين والاكسجين، وان الدهنيات كانت في معظمها تتألف من الكربون والهيدروجين وقدر ضئيل من الاوكسجين، وان المواد البومينية تضمنت الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيروجين وأحيانا الكبريت والفوسفور . ومع كل هذا القدر من الكربون والهيدروجين بدا واضحا لماذا كانت هذه المواد قابلة للاحتراق . وما عدا ما هو في الحجر الجيري ليس الكربون عنصرا شائعا بين الفلزات . أما في المنظومات الحية فهو دائما موجود .

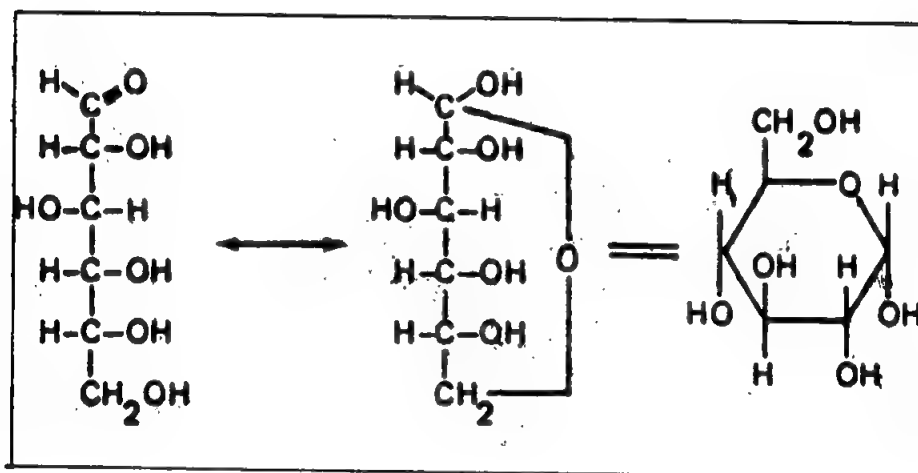
كانت قوانين واساليب الكيمياء قد ارتسخت بحلول القرن التاسع عشر، والكثير من الكيمياء الحديثة قد نما من أعمال يونس برزيليوس (Jons Jacob Berzelius) في السويد . فقد تمكن برزيليوس في بواكير أعوام ١٨٠٠ من التثبت من التركيب العنصري المضبوط والصيغ الكيميائية لنحو ألفي (٢٠٠٠) مركب (compound) . كما انه قدم للعالم العديد من الكلمات الكيميائية بما في ذلك كلمة بوليمر (polymer) للدلالة على جزيئة كبيرة تضم معا وحدات فرعية صغيرة، وكلمة كاتاليس (catalyst = محفز) للدلالة على المادة التي تساعد في اتمام تفاعل كيميائي دون ان تستهلك هي بذاتها .

كانت بضعة مركبات بيولوجية نقية قد سبق وشاعت معرفتها قبل عهد برزيليوس ، وكان قد تم عزل العديد من السكاكر البلورية من عدد من المصادر وكانت اليوريا (Urea) ايضا معروفة كبلورات تظهر عند تبخر البول الى حد الجفاف . بدت المركبات المتقاة المشتقة من المنظومات الحية تتضمن العديد من الخواص المشتركة التي لا تتعدها الى الكيماءات اللاعضوية . صاغ برزيليوس كلمة عضوي (organic) وقسم الكيمياء الى عضوية ولا عضوية ، مع الاولى مشتملة على المركبات من المنظومات الحية ومتميزة ومنفصلة عن الكيمياء اللاعضوية .



وهكذا تم وضع التمييز الكيميائي، وأبدى أصحاب المذهب الحيوي ارتياحهم . فبعض عن كيفية نشوء الحياة ، فانها بقيت مسألة فلسفية لأنه لم يمكن أن تتأتى من مادتها الدنيوية من التربة او من الفلزات . فان كان ليأتي تفسير علمي لنشأة الحياة، فان مسألتها الاساسية آنذاك كانت هي نفسها التي قامت بعد مضي مائة عام عليها، وهي: كيف تمكنت المواد العضوية أن تتأتى من المواد اللاعضوية في الارض؟

ظل تمييز برزيلوس بين الكيمياء العضوية واللاعضوية قائما لمدة احدى وعشرين سنة فقط . اذ أن أحد تلاميذه بالذات، وهو الكيميائي الالماني فريدريش فولر (Friedrich Wöhler) قام بنسف الحاجز على حين غرة . كانت تجربة بسيطة ، ولكنها لم تقبل النزاع . فقد تمكن فولر من انتاج اليوريا من تسخين سيانات الامونيوم (ammonium cyanate)، وهي املاح لا عضوية ، بينما اليوريا هي المادة الاعتيادية التي تفرزها الثدييات في بولها . وجاء هذا الاكتشاف بمثابة ضربة قاسية لاصحاب النظرية الحيوية ، ولكنهم انتعشوا لحد ما في محاولة لاعادة صياغة موقفهم، انما تجربة فولر كانت مجرد البداية للانهيال الكلي للتقسيم بين كيمياء الاحياء وكيمياء الجماد .



D-Glucose

الشكل ١/٧ - الصيغ البنوية للفلوكوز د



وبعد أحد عشر عاماً ، في عام ١٨٣٩ ، ضم شقنن (Schwann) جميع الكائنات الحية في بوتقة مشتركة باقرار الخلية كالوحدة الاساسية للحياة. وواصل الكيميائيون، طوال بقية القرن، وفيما عكف البيولوجيون على دراسة تركيبة ووظيفة الخلية، يسيطون اللثام خطوة بخطوة عن ريادة المركبات العضوية.

في عام ١٨١٢ أذهل غوستاف كيرخهوف (Gustav Kirchhoff) الكافة بتغلية النشاء المادي مع قليل من الحامض والحصول على سكر العنب (grape sugar) . كان حلاً (hydrolysed) النشاء ، أي انه صدع الاربطة المتوازية التكافؤ (covalent bonds) مع اضافة الماء بنوع من الهضم محفز بالحامض . وبعد ذلك بسبعة أعوام قام الكيميائي الفرنسي براكونيه (Braconnet) بتغلية عدة مواد نباتية بما فيها نشارة الخشب وولد منها السكر البسيط غلوكوز (glucose) . وعلم فيما بعد ان مادة باسم خيلولوز أو سيلولوز (cellulose) ، وهي مقوم رئيس في النبات، كانت مصدر غلوكوز براكونيه.

قام جوزيف لويس غاي لوساك (Joseph Louis Guy-Lussace) بتحري النشاء والسيلولوز والساكر المختلفة ووجد عند تحليلها ان كلا منها أعطى ذرة كاربون واحدة لكل ذرة من الاوكسجين وذرتين من الهيدروجين . كما بدا ان هناك جزيئة ماء واحدة لكل ذرة كاربون، معطية بذلك الصيغة CH_2O لمفردات هذه المجموعة ، واستفزه هذا الوضع الى تسميتها بالكربوهيدرات (carbohydrates) أو الكاربون الميه أو الميدر (hydrated carbon) .

كانت الساكر ابسط البنى الجزيئية يمكن الحصول عليها بالحلمأة

(hydrolysis) ، وعند مقايضة الوزن الجزيئي للغلوكوز وجد انه يبلغ (١٨٠) أو ستة اضعاف وزن CH_2O ، والسكريات البسيطة الاخرى أعطت ايضا نفس الصيغة. ولما كان النشا والسليلوز أكبر بكثير وبحجم تتعذر مقايسته بأساليب تلك الايام، فانه بدا واضحا انهما كانا متكونين من ترابط السكريات البسيطة.

قام الكيميائي الزراعي الهولندي جيراردوس مولدر (Gerardus Mulder) بدراسة المادة الالبومينية الموجودة في المواد الغذائية ، وفي عام ١٨٥٨ باقتراح من برزيلوس أطلق اصطلاح البروتين على هذه المجموعة ، وبسرعة أدرك البيولوجيون ان العجلة الاولى (protoplasm) وهي السائل اللزج الموجود في جميع الخلايا والمعتبر أساس الحياة ، كان متألفا في معظمه من البروتين. وعند حلالة البروتينات تبين، على نقض النتائج المستحصلة بالنسبة الى الكربوهيدرات، ان هذه أعطت خليطا من مركبات أصغر تتضمن النيتروجين صعبة الفصل. وعند انجاز عزل الاولى من هذه السلاسل في عام ١٨٢٠ وجد انها مادة كيميائية بلورية بيضاء وأطلق عليها اسم غلايسين (glycine) ، وهذه هي الحوامض الامينية الالفائية (alpha amino acids) متميزة باحتوائها على حامض الكربوكسيليك (carboxylic) والمجموعة الامينية المرتبطة بنفس الذرة الكربونية كان قد اسماها برزيلوس في عام ١٨٤٨ ثم انقضى أكثر من قرن قبل التمكن من عزل وتشخيص جميع الواحد والعشرين حامضا أمينيا الموجودة عاديا في البروتينات.

بحلول عام ١٨٢٧ كان ويليام براوت (William Prout) قد نهض يقترح ان جميع المادة العضوية في المنظومات الحية كانت تتألف جوهريا من ثلاث فئات من المواد هي الكربوهيدرات ، والدهنيات ، والبروتينات ، وفيما واصل الكيميائيون استقصائها اكتشفوا ان الخاصية المميزة للنشاء والسليلوز،



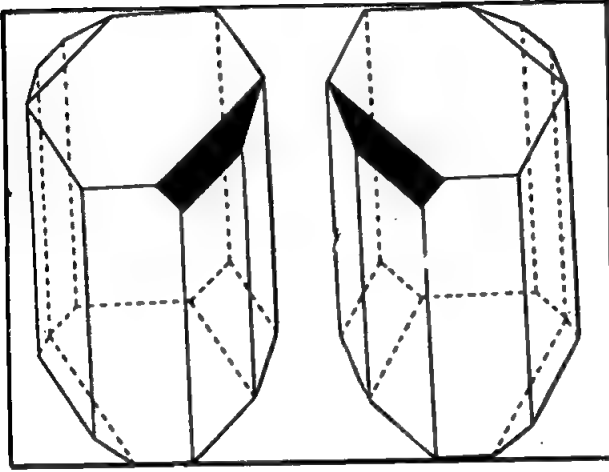
والبروتينات هي انها من جزيئات ضخمة للغاية ، وهذه ميزتها عن المركبات اللاعضوية التي نادرا ما تجاوزت وزنا جزيئات بقدر بضع مئات، لكن مقايسة احجام هذه البوليمرات العضوية كانت بعيدة عن مقدور الاساليب المتوفرة للكميائي اواسط القرن التاسع عشر ، انما تمكن العلماء من الوقوف على حقيقة في غاية الاهمية وهي ان الحياة كانت مشيدة من جزيئات ضخمة.

توفي برزيليوس في عام ١٨٤٨ بعدما أنجز تنظيم الكيمياء وتوجيهها في مسارها ، وبنفس الوقت قدم كيميائي فرنسي شاب باسم لويس باستور (Louis Pasteur) ورقة الى أكاديمية العلوم في باريس يعلن فيها عن اكتشاف باهر كان قد انجزه . كان قد وجد ان بعض المركبات الكيميائية تتواجد كمكونات يمنية وأخرى عسائية (right-handed, lefthanded) مع كون كل منهما شبحا مرآتيا للآخر . وحامض الدردريك أو الصاموريك (tartaric acid) الذي كان يظهر في طرائق صناعية معينة ، وجد بأنه يضم نفس التركيبة كالحامض الارومي (native acid) الناتج عن تخمر العنب ولكنه اختلف عنه بخاصية واحدة فقط وهي انه عند النظر الى حامض الصاموريك الطبيعي من مكشاف استقطابي (polaroscope) أعطى هذا الحامض دورة (rotation) لحزمة من الضوء المستقطب (beam of polarised light) بينما الحامض الاصطناعي (synthetic acid) أخفق في فعل هذا.

درس باستور بلورات حامض الصاموريك الاصطناعي تحت المجهر واكتشف شكلين بلوريين كلاهما شبح مرآتي للآخر ، وبفصل البلورات بتأن وعناية بالغة بالملقطة أو الجفت وجد ان الشكلين كانا ظاهرتين متعاكستين على الضوء المستقطب ، فاستثبت أن ذلك كان ناجما عن عدم التناظر الجزيئي (Molecular asymmetry) وبرهن ايضا على أن خاصية التشابه البصري

(optical isomerism) هذه، أي الحيازة على نفس الصيغة الجزيئية مع اختلاف دورة الضوء المستقطب ، تحصل في مركبات عضوية أخرى، انما يوجد فقط شكل واحد للمنتوجات الطبيعية . وقد تم انتاج كلا الشكلين في التمثيل الكيميائي بنسب متساوية بحيث ان المادة لم تظهر أي تدوير للضوء المستقطب . ولما كان يوجد شكل متساوي الاجزاء (isomeric) واحد في الطبيعة . استنتج باستور ان المتعضيات كانت اتقائية السلوك نحو المتشاكلات او المتماثلات (isomers)، وهذه المعلومة هيأته لاكتشاف آخره .

حتى زمن باستور ، لم تكن الخميرة (yeast) تعتبر متعضية مجهرية وانما مجرد عامل محفز (catalyst) عضوي يساعد على تخير الخبز وتخمير عصير الفواكه . وعندما طلبت منه صناعة الخمور أو النبيذ استقصاء مشكلة تردي منتوجاتها قام باستور بدراسة التخمير (fermentation) وحسب بصواب أن تحويل السكر الى كحول كان نتيجة نشاط بيولوجي لمتعضية حية هي الخميرة (yeast) ، وخلص زيادة على ذلك الى القول انه توجد متعضية مجهرية نوعية معينة تسبب في تخمر العصير وتضر الحليب (أي تحمضه) وتخمخ أو انتان اللحم . وبفضل انجازاته العملاقة في البيولوجيا المجهرية ، حقق باستور تفهما أفضل للحياة في المستوى المجهرى . وبالتجربة البسيطة برهن على ان كل جرثومة أو ميكروبة مشتقة من ميكروبة حية سبقتها في الوجود وبذلك منح حتى المتعضيات المجهرية اسلافا سلالية وفي النهاية النى فكرة التولد التلقائي .



الشكل ٢/٧ - رسمان لبلورات حامض الصاموريك يوضحان الشبحين المراتبين
لإسومرين اللامتناظرين .



دخلت كيمياء المركبات العضوية عصرها الثاني في عام ١٨٥٨ مع ولادة النظرية البنوية (structural theory) • وبهذا الوقت كانت الصعوبة تشتد بتزايد في مطابقة كل هذه الصيغ الجزيئية (molecular formulas) لهذا العدد المتنامي من المركبات العضوية • قام أوغست كيكولة (August Kekulé) بدراسة هذه المشكلة وبرهن على أن الكربون رباعي التكافؤ (tetravalent)، أي ما معناه أن الكربون يشكل أربعة اربطة كيميائية مع الذرات المتجاورة لها، لكن الأهم من ذلك هو ادراكه أن بوسع الكربون أن يرتبط ليس فقط مع عناصر أخرى وإنما أيضا مع ذرات كاربونية أخرى مؤديا إلى سلاسل طويلة تسمى بالمسلسلات الأليفاتية (aliphatic series)، وفي وقت لاحق طرح نظرية المسلسلات العطرية أو الأروماتية (aromatic series) المتألفة من جزيئات تتضمن

حلقة البنزين (benzene ring) •

تمت إضافة بعد آخر في عام ١٨٧٤ عندما اقترح ياكوبوس فانت هوف (Jacobus van Hoff) وجوزيف ليبيل (Joseph Le Bel) أن اربطة الكربون الرباعية التكافؤ كانت موجهة نحو الزوايا الأربع للرباعي الأسطح (tetrahedron) مع الكربون في المركز. أصبحت بنية أو رياضة (architectude) المركبات العضوية ثلاثية الأبعاد • ورغم أن تمثيل اربطة الكربون كصورة مستوية موجهة إلى زوايا قائمة قد استبقيت بدافع السهولة فإنه كان قد أدرك أن الأربطة الموجهة إلى زوايا رباعي الأسطح أعطت تمديدا حيزيا للمواد العضوية •

في عام ١٨٧٥ نجح أميل فيشر (Emil Fischer) الذي كان أحد تلاميذ كيكولة في البرهنة على البنية الثلاثية الأبعاد للمساكر وثبت صيغ بنيتها بالتمثيل (synthesis) وهي في العموم الاثبات الختامي على صحة صيغة ما • ولما كان النشاء غلوكوزا مربوطا معا في بوليمر فقد تم الاقرار بأن بنيته هي كالآتي:



فقد كان يوجد صنفان اساسيان من جزيئة النشأ هما البوليمر الطولي او الخطي (linear) والبوليمر المتفرع، وعندما تم التثبت في النهاية من الاوزان الجزيئية وجد أن البوليمر الطولي يتباين في الحجم من مائة (١٠٠) وحدة الى الف (١٠٠٠) وحدة غلوكونية.

كانت رياضة المواد المعزولة من النباتات والحيوانات الاكبر حجما والاكثر تعقيدا التي واجهها الكيميائيون مطلقا، وتبين ان قوي التمثيل الكيميائي التي تمارسها المنظومات الحية هي فعلا باهرة وحتى رهيبه. فقد انتجت المتعضيات منتجات طبيعية من احجام هائلة وتعقيد متناه ومثير مثل اليخضور او الكلوروفيل ($C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ chlorophyll) والهيموغلوبين (hemoglobin) $(C_{738}H_{1166}FeN_{202}S_2)_4$ ، وذلك بسهولة تتجاوز الى اللامعقول ، بينما لتمثيل او تركيب (synthesise) حتى ابسط المركبات في المختبر يضطر الكيميائي الى استخدام درجات حرارة عالية وعوامل شديدة التفاعل للغاية ليحصل في العموم فقط على مردود منخفض من المنتج المنشود . اذن، كيف كان ذلك ممكنا بالنسبة الى المنظومة البيولوجية؟

ظل الجدل محتدما طوال اكثر من خمسين عاما خلال النصف الاخير من القرن التاسع عشر بين اصحاب المذهب الحيوي واصحاب المذهب الآلي أو الميكانيكي، وأصر الحيويون على ان التفاعلات البيولوجية ممكنة فقط بفعل المنظومات الحية بينما اعتقد الميكانيكيون ان العمليات البيولوجية جاءت نتيجة للتفاعلات الكيميائية ، رغم انها كانت معقدة للغاية ، انما مع ذلك كانت مركبات كيميائية.

عودة الى أعوام ١٨٣٠ كان الناس قد درسوا العملية الهضمية واكتشفوا وجود حامض الهيدروكلوريك في مستفرجات من المعدة ، ولما كانت حلماة

الكربوهيدرات والبروتينات بالحوامض معروفة فانه بدا واضحا ان هذه هي عملية الهضم . ثم في عام ١٨٣٥ قام ثيودور شفان بعزل مسحوق عضوي من السوائل المعدية لم يكن حامضا ولكنه مع ذلك كان نشيطا جدا في تجزئة او تكسير اللحوم، فأطلق عليه اسم ببسين pepsin = الهضمين ، وهي مشتقة الكلمة اليونانية الدالة على الهضم) كما تم العثور على محفزات عضوية أخرى ايضا. وفي عام ١٨٣٣ تمكن بين (Payen) وبيرسوز (Persoz) من عزل الدياستاز (diastase) من شعير الملت (Malt) الذي موه أو حلما النشا الى سكر ، وأعلن يوستوس فون ليبج (Justus Von Liebig) وفريدريش فولر (Friedrich Wohler) في عام ١٨٣٧ عن استخراج المستحلبين او الايمالسين (emulsin) من اللوز المر، واستخرج دونفروفاوت (Dunfrunfaut) محفزا عضويا من الخميرة التي تجرد السوكروز (sucrose) وتحيله الى سكاكر بسيطة كالغلوكوز والفروكتوز (glucose and fructose) . لكن لما كان كل من هذه المحفزات العضوية يسفر عن الحلمة فقد اعتبرها الحيويون كموامل هضم، وهي عملية يمكن أن تتم خارج الجسم، واصروا في جدلهم على أن تحويل مركب عضوي الى آخر بالطريقة التي تغير الخميرة بها السكر الى كحول يتطلب متعضية حية.

وفي عام ١٨٩٧ حاول ادوارد بوخنر (Eduard Büchner) وهو كيميائي ألماني، تحليل عملية التخمر الكحولي هذه . قام بطحن خلايا الخميرة بالرمل الى أن تفتت كلها، ثم أزال الرمل والحطام الخلوي منها بالترشيح. وعندما أضاف بوخنر السكر الى الرشيجة التي كانت الآن خالية من كل خلايا خميرية، بدأ تخمر سريع على الفور ، وثبت له ان التخمر لم يحتج الى الخلية ، فان التفاعل البيولوجي كان يتم ليس بالمتعضية الحية وانما بمادة ما مستخرجة من الخلية . وأدرك بوخنر ان التخمر لم يكن عملية فزيولوجية (physiological)

وانما تفاعلا كيميائيا تحفزه انزيمية ، وأطلق على هذه الانزيمية اسم الزيماز
• (zymase)

فلماذا نجحت تجربة بوخنر حيث اخفقت غيرها؟ والجواب على ذلك يكمن
في ان الانزيمات (enzymes) هي بنى هزيلة ، ففي السابق كانت الطريقة المستخدمة
لقتل خلايا الخميرة دائما تحطم ايضا التضاريس الهشة لجزيئات الانزيمية .
اثبت اكتشاف بوخنر ان العمليات البيولوجية التي تقوم بها المتعضيات
هي بالفعل تفاعلات كيميائية تحفها مكونات عضوية تسمى انزيمات يمكن
تقصيها منفصلا بدمون الخلية . وأدرك بسرعة ان الهضمين والمستحلبين
والدياستاز والانفرتاز (invertase) كانت ايضا يومخفزات أو مخفزات حية
(biocatalysts) تنتمي الى صنف الانزيمية . غير انه لم يكن يعلم الكثير آنذاك
عن التركيبة الكيميائية للانزيمية ولا عن طريقة فعلها ما عدا انها كانت ضخمة
جدا وغير مستقرة (unstable) •

كانت ملاقاتة أحجام جزيئية أكبر من أن تخضع للمقايضة دائما عقبة
مزجة ومشطة لدراسة المواد البيولوجية ، فانه بدون أي تقدير ثابت للحجم
الجزيئي بقي شبح النشاءات والبروتينات والانزيمات غامضا مبهما ومجهولا .
بدأ تحقيق التقدم في مجال مقايضة الاوزان الجزيئية الكبرى في عام
١٨٧٧ عندما حاول الخير الالماني فيلهلم بفيهر (Wilhelm Pfeffer) استخدام
أسلوب كان قد اكتشفه توماس جراهام (Thomas Graham) في اسكوتلندة قبل
ذلك بسبعين سنة خلت . فقد كان جراهام قد علم ان صفيحة المهرق
(parchment) الرقيقة بين محلول ملح من البروتين والماء النقي تتيح للملح
الترشح من خلال مساماتها ولكنها تحجب البروتين لكون هذا ضخما للغاية .
في الواقع تمر ايونات (ions) الملح وجزيئات الماء الصغيرة بطلاقة الى ان

يتم التعادل بعدد متساو منها في كل من الجانبين • لكن اذا تضمن أحد الجانبين مادة مثل البروتين التي هي أكبر من أن تمر من خلال الغشاء شبه المرشح فانه عند التعادل للماء يزداد حجم أو كمية محلول البروتين لأن حجم وحدة من محلول البروتين يتضمن بالاساس ماء أقل من حجم وحدة من الماء، فسميت هذه الزيادة في الحجم أو الكمية بالضغط التناضحي (osmotic pressure) أن ما ادركه بفيلر كان أن الضغط التناضحي يتوقف على عدد جزيئات البروتين، ولما كان العدد في العينة الموزونة يعتمد على الحجم الجزيئي فإن الضغط التناضحي ينتهي إلى الوزن الجزيئي. جرى تهذيب هذه الطريقة في وقت لاحق من قبل خير الكيمياء الفيزيائية الهولندي فانت هوف (Van't Hoff) لقد كانت الصعوبة تكمن في كيفية رسم علاقة تناسبية موثوقة بين الضغط التناضحي الذي تظهر قراءته في التجربة وبين بعض الاوزان الجزيئية المعلومة • وبعد التثبت من صحة معايرة الاسلوب تسنى مقايسة الضغط التناضحي لعينة موزونة من أي بروتين واحتساب وزنها الجزيئي •

لقد تبين ان الاحجام الجزيئية للبروتينات كانت ضخمة ، ووجد ان زلال او البومين البيض (egg albumin) يبلغ (٣٤٠٠٠)، والهيموغلوبين (٦٧٠٠٠)، وبضعة من البروتينات كانت دون العشرة آلاف (١٠ ٠٠٠)، والعديدة منها كانت أكبر من مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) وهو المدى الاعلى لأسلوب المقايسة. ومعنى هذا ان البومين البيض كان ييو بوليمرا (biopolymer) يتضمن حوالي ثلاثمائة (٣٠٠) حامض اميني، والهيموغلوبين ييو بوليمرا ذي أكثر من ذلك العدد • وعندما جاء الفرز المركزي الفائق السرعة (ultracentrifuge) ليلفي ويحل محل الضغط التناضحي في القرن العشرين كوسيلة للتحقق من الاوزان الجزيئية جاءت البروتينات الاكبر من مائة ألف (١٠٠ ٠٠٠) ضمن نطاق

المقايسة . لكن امكانية ابتداء معرفة ترتيب السياق لجميع الحوامض الامينية والشكل الكامل لمثل هذه البنى العملاقة بدت بعيدة .

كانت الانزيمات سر الحياة المحير، فلم يكن يعلم أي شيء عن طبيعتها الكيميائية ولا عن طريقة فعلها ، ولما كانت الانزيمات محفزات مكنية للغاية فان مقادير دقيقة منها كانت كافية لتحفيز التحويلات الكيميائية النوعية ، وبالنتيجة فان مقايسة ناتج الفعل الانزيمي كان أكثر سهولة من اكتشاف الانزيم بذاتها. اذ انه بوسع بعض الانزيمات ، مثل الانهيدراز الكربونية (carbonic anhydrase) التي تنزع الماء من حامض الكربونيك ، أن تقوم بتحويل أكثر من مليون جزيئة بالدقيقة الواحدة مقابل كل جزيئة من الانزيم . لقد استلزم تحليل تركيز الانزيم تهيئة كمية قابلة للقياس من عينة منقاة وكان ذلك مستوى من الاعداد صعب التحقيق بالاساليب المختبرية المتوفرة عند منقلب القرن، انما الامر الذي كان معلوما هو ان الانزيمات كانت غير مستقرة للغاية وتفقد انشطتها بسرعة اذا جرى تسخينها الى مجرد (٥٦°) مئوية ، أي لا أكثر من تسع عشرة درجة فوق درجة حرارة الجسم . كانت هذه ظاهرة مواربة للغاية وشبيهة بأمر البروتينات ، ولهذا بدأ العديد من الكيميائيين بالاعتقاد أن الانزيمات كان في الحقيقة بروتينات تملك خواص التحفيز .

واستمر الجدل يعصف تارة لصالح هذه النظرية وأخرى ضدها طوال عقدين من السنين دون أن يتمكن أي من الجانبين تجميع قدر واف من البيانات لحسم النزاع . ثم في عام ١٩٢٠ قام ريتشارد فيلستيتير (Richard Willstätter) ، وهو كيميائي ألماني شهير وفائز بجائزة نوبيل بدراسة المشكلة . قام بتصفية عينة من الانزيمات بعناية بالغة الى أن اقتنع بنظافتها تماما من جميع الشوائب، ووجد ان المحلول الصافي كان لا يزال يحتفظ بالنشاط الانزيمي بالرغم من انه لم يجد أي أثر للبروتين . وبناء على ثقته من النتائج المستحصلة



أعلن فيلستيتير للعالم العلمي انه كان موقنا تمام اليقين ان الانزيمات لم تكن بروتينات ، لكنه كان مخطئا . لقد فات فيلستيتير أن يدرك أن بوسع الانزيمات ابداء نشاطها في مستويات تركيزية أقل بكثير من المقادير المطلوبة لاكتشاف البروتينات بالاساليب المعروفة آنذاك .

ثم في عام ١٩٢٦ قام أحد أساتذة الكيمياء الحيوية من جامعة كورنيل باجراء تجربة بسيطة الى حد اللامعقول أدت الى قلب العديد من المعتقدات الراسخة . فقد كان جيمز سامنر (James B. Sumner) يعمل منذ تسع سنوات جاهدا لعزل يورياز الانزيمية (enzyme urease) من الفاصوليا المتسلقة (jack beans) . كان لغز المشكلة ايجاد الوسيلة المناسبة لاجراء ترسيب انتقائي لليورياز من مستخرج خام لعزل ناتج صاف . وفي أحد الايام فيما كان سامنر يتبع اقتراح من أستاذه السابق بجامعة هارفارد لجأ الى استخدام الايسيتون (acetone) لاستخراج المسحوق أو الدقيق من الفاصوليا . بعد ترك المحلول ليترشح طوال الليل قام بفحص قطرة من الرشيح تحت المجهر وشاهد بلورات دقيقة ثمانية السطوح لم يكن قد رأى مثلها قبلا قط، فجمع هذه البلورات بواسطة جهاز الفرز (centrifugation) المركزي، ثم اذابها وفحص المحلول الذي كشف عن نشاط يوريازي شديد . وابانت الاختبارات اللاحقة ان البلورات كانت بروتينا ذا وزن جزيئي يبلغ (٤٨٣٠٠٠) . وبذلك لم يكن سامنر قد أثبت ان الانزيمية كانت بروتينا فحسب، بل كان بالفعل قد قام ببلورته . فالمواد التي تحفز عمليات الحياة الاساسية كانت مركبات بطريقة الكيماءات العادية^(١) .

الفصل الثامن

الاساس الجزيئي للحياة

ان الصفة المذهلة في الكائنات الحية هي تمكنها من التناسخ طبق الاصل جيلا بعد جيل باستمرار، وهذا يحتم الاستنتاج أن لابد للمتعضيات في تركيبها وسيلة ما لحفظ وتخليف خزين من المعلومات هو ميراثها من الاجيال السابقة . وهذه المعلومات تتضمن التعليمات اللازمة لتمثيل المتعضية كاملة مع جميع مكوناتها .

لقد أدرك الانسان منذ عصور ما قبل التاريخ أن الوراثة قدرة تكمن في الخواص الجسدية للنبات والحيوان ، لكن مكنون آليتها بقي مجهولا غامضا عبر القرون، ولم يتم اجراء أية دراسة علمية للوراثة حتى اواسط القرن الماضي . ففي عام ١٨٥٦ قام راهب أغسطيني باسم جريجور مينديل (Gregor Mendel) كان يربي أنواعا مختلفة من البزاليا العادية في حدائق السدير في برون (Brunn الآن Brno) في مورافيا Moravia الآن في تشيكوسلوفاكيا) باجراء التجارب على مهاجنة هذه الانواع وملاحظة انتقال الخواص والخلال المختلفة فيها الى الجيل الاول والثاني والاجيال اللاحقة . وبعد عشر سنوات ، في عام ١٨٦٦، نشر مينديل قواعد احصائية حول الوراثة في نشرة اتحاد البحوث الطبيعية في برون . لم تلق هذه الورقة اهتماما يذكر في حينها وطواها غبار النسيان ، لكن لمجرد أن يعاد اكتشافها في عام ١٩٠٠، عندما قام ثلاثة خبراء نباتيين اوريين هم كارل اريخ كورنز (Carl Erich Correns) من برلين واريخ تشرماك فون سايسنيج (Erich Tschermak Von Seysenegg) من فينا وهوغو دفريس (Hugo De Vries) من لايدن بهولندية في آن واحد

وعلى انفصال بالاعلان عن نتائج مماثلة لنتائج تجارب مينديل انما لمجرد أن يجدوا أن البيانات التجريبية والنظرية الخاصة بها كانت قد نشرت قبل ٣٤ عاما من ذلك التاريخ.

استمرت المناقشات العظى حول النشوء باحتدام بالغ طوال النصف الثاني من القرن التاسع عشر وامتدت الى القرن العشرين ، ولتفسير نظرية داروين (Darwin) قام البيولوجيون بطرح الرأي ان الخواص البيولوجية ترثها عوامل بدنية تنتقل عبر الاجيال المتعاقبة، وهنا قام البيولوجي الانكليزي ويليام يتسون (William Bateson) بتسمية هذا الفرع من البيولوجيا أو علم الاحياء باسم علم التكوين أو علم الوراثة (genesis) في عام ١٩٠٦، وذلك اشتقاقا من كلمة التكوين (genes)، وفي اشتقاق رجوعي غريب صار يطلق على عوامل الوراثة (inheritance factors) اسم الجينات (genes) لكن ما هي الطبيعة الكيميائية الحقيقية للجينة؟

كان قد جرى عزل المادة او المكنون الجيني (genetic substance) من نوى الخلايا بما يقرب من سبعين (٧٠) عاما قبل ادراك مغزاه البيولوجي الحقيقي، ففي عام ١٨٦٨ قام الشاب السويسري المتدرب على الطب بالتوجه الى مدينة توبنجن (Tubingen) بالمانيا قادما من مدينة بازل (Basel) على الحدود الفرنسية الالمانية السويسرية . وفي الرابعة والعشرين من عمره كان لتوّه قد اكمل الامتحان لنيل الدكتوراه ، وقد جاء الى المانيا للعمل لدى ارنت هوبه سايلر (Ernst Hoppe-Seyler) الكيميائي الفسيولوجي الالمانى العظيم . كان الخريف قد حل قبل أن يبدأ ميشر ببحوثه العليا ما بعد الدكتوراه، ألا انه بحلول شباط ١٨٦٩ كتب الى أستاذه السابق بسويسرة يخبره عن عزل مادة جديدة من نوى الخلايا.



لم يكن يعرف الكثير عن نواة الخلية في هذا الزمن ، أما وظيفة المادة الخلوية فقد كانت مجهولة كليا تقريبا . في أول الامر كان ميسر قد اتوى مواصلة بحوثه في خلايا اللمف (Lymph Cells) لكن محدودية توفرها اضطرته الى استعمال خلايا القيح (pus cells) التي استخرجها من الضمادات الجراحية . قام أولا بفصل هذه الخلايا بمحلول كبريتات الصوديوم (sodium sulfate solution) ثم بترشيحها ومعالجتها بالقلوي (Alkali) لتنظيفها وإزالة ما قد علق بها من شحوم وحامض الكربوليك (carbolic acid) . بعد ذلك قام ميسر بترجيح فتيست الخلايا بعنف لفترة طويلة في خليط من الاثير (ether) وحامض الهيدروكليك المخفف للغاية ، واما أن ذابت الدهون ومنتجات التفسخ والحطام في الاثير أو انها احتبست في الفاصل البيني للسوائل غير القابلة للامتزاج ، واستقرت النوى الاكثف قليلا ببطء وتساقت الى قاع الطبقة المائية كرواسب دقيقة ضاربة الى البياض^(١) .

تضمنت مادة ميسر المستخرجة من نوى القيح ، والتي اسماها بالنووين (nuclein) نسبة كبيرة من الفوسفور (phosphorus) . وحتى هذا الوقت كان الليسيثين (lecithin) الناتج الطبيعي الوحيد المعروف الذي يحتوي على الفوسفور . كان النووين (nuclein) عقدة أو مشبوكة (complex) ، وذلك لتمييزه عن المركب (compound) من البروتين وحامض النوويك ، لكن اجراءات التنقية اللاحقة أفضت الى انفصال حامض النوويك ككتلة من مادة شبه خيطية ليفية طويلة يمكن تجميعها من المادة المترسبة بلفها على طرف قضيب زجاجي . على ما يظهر ان ميسر ، بدون معرفة الطبيعة البنيوية لنووينته (nuclein) ، كان قد أدرك ان لهذه صلة ما بالوظيفة الوراثية أو الجينية . وبقي الامر على هذا الوضع حتى عام ١٩٤٤ حين اثبتت تجربة قام بها أو ني

ايفري^(٢) (O.T. Avery) أن الشاب السويسري كان قد عزل مادة هي الاساس الكيميائي للخواص الوراثية لجميع الكائنات الحية، ألا وهي حامض النويك (nucleic acid) *

جاء مستحضر مباشر من النووين بعشرة أعوام بعدما قام داروين بنشر مؤلفه: «حول أصل الانواع»، وبحلول عام ١٨٨٠ كان قد تم التثبت من عملية الانقسام الفتيلي (mitotic process) واقرارها، واكتشف البيولوجيون العاملون بالمجهر الضوئي أن جميع الخلايا تتضمن مادة نووية بعدد معين من وحدات شبه قضيبية أو خيطية تسمى بالكروموسومات أو الصبغوسومات (chromosomes) • والصبغوسومات هي الحاملات لعوامل وراثية نوعية تسمى بالجينات (genes)، وكشفت الدراسات المجهرية التفصيلية طريقة تناسخها في التكاثر الخلوي • وعند عزلها وتحليلها وجد ان هذه الصبغوسومات تتضمن البروتين وحامض النويك بنسب متساوية تقريبا.

ان حامض النويك هو المادة البوليمرية الحاوية للفوسفور والموجودة في النووين الذي كان مباشر قد عزله من خلايا القيح في عام ١٨٦٨ • واكتشف الكيميائي الالماني البريخت كوسل (Albrecht Kossel) في جامعة هايدلبرغ اثناء عمله على حامض النويك المأخوذ من الغدد الدرقية (thymus glands) للمجول ان هذا الحامض يتضمن قواعد (bases) نيتروجينية تسمى بالبيورينات purines = مركب عضوي بلوري عديم اللون $C_5H_4N_4$ ، المادة المولدة لمجموعة مركبات حامض اليوريك (uric acid) • وبالبيرميدينات (Pyrimidines = مركب عضوي بلوري سائل عديم اللون $C_4H_4N_2$ والشكل الجوهري لعدد من القواعد (bases) بعضها هي مكونات او مقومات حامض النويك)، وقام بعزل وتشخيص مشتقات من كل من هاتين القاعدتين • ولما كان حامض



النويك بوليمرا يتألف من أربعة أنواع من الوحدات الفرعية فقط (subunits) فانه بدأ، مثل النشاء، انه يتكون من جزيئة سلسلية رتبية طويلة.

خلال العقود القلائل الاولى من هذا القرن وفيما كان البيولوجيون يعملون على توسيع علم التكوين أو الوراثة بتوضيح العلاقة الرياضية (mathematical relation) للوراثة البيولوجية ، أحرز الكيميائيون نجاحا كبيرا في ايضاح دور الانزيمات في التحكم بالعمليات الحياتية . لم يملك أي من الفريقين أية دراية جلية بالطبيعة الكيميائية للجينة ولا بكيفية صنع الانزيمات . ثم في السنوات الثلاثينية من هذا القرن قام الخيران التناسليان الامريكيان (geneticists) جورج بيدل (George Beadle) وادوارد تيتيم^(٣) (Edward Tatem) ، اللذان كانا يعملان على العفن الاحمر المعادي للخبز (Neurospora crassa) ، بربط النظريات الداروينية بالكيمياء بالتدليل على أن الانزيمات تتحكم في البنية (structure) والجينات تتحكم في الانزيمات ، وادركا ان الجينات مدونة (coded) بكيفية ما للانزيمات وطرحا وجود جينة نوعية لكل أنزيمية.

انها لبراءة باهرة حقا من الخلايا أن تقوم بمكاثرة البروتينات المحتوية على مئات الحوامض الامينية تكرارا وتماما بنفس السياق، ولا بد انه تتم عملية (polymerisation) الحوامض الامينية بالضبط بنفس الترتيب (order) في مرسومة أو قالب (template) لكي تتمكن من تمثيل البروتينة مرارا وتكرارا بنفس التركيبة تماما وبمنتهى الدقة ، ولا بد أن هذه المرسومات تتضمن في تركيبها المعلومات الوراثية (heredity information) .

بالنظر الى القدر الهائل من المعلومات التي ستحتاج المتعضية اليه في مادتها الوراثية فقد سلم البيولوجيون في العموم بأنه سترتب على المادة التي



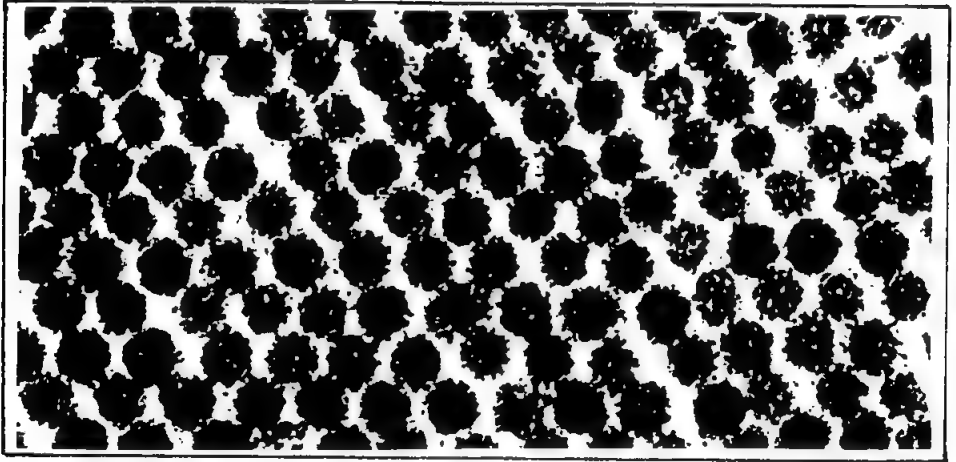
تصبح العامل التكويني أن تتضمن عددا كبيرا من الوحدات الفرعية لتعمل هذه كرسائل أو رموز في الدستور المعلوماتي (informational code) ، ولما كانت البروتينات تحتوي على أكثر من واحد وعشرين نوعا من الحوامض الامينية فقد بدت هذه الجزيئات الضخمة مناسبة للغاية للقيام بهذا الدور ، وطوال السنوات الثلاثينية ظل أغلب العلماء البيولوجيين والبيوكيميائيين يعتقدون ان البروتين الموجود في الصبغوسومات كان المادة التكوينية ولم يعيروا حامض النوويك غير أهمية ضئيلة.

وخلال نفس العقد ، في عام ١٩٣٥ ، أجرى ويندل ستانلي (٤) (Wendel Stanley) العامل في معهد روكفيلر بنيويورك تجربة مذهلة . فقد قام ببلورة فيروس (virus) . ان الفيروسات كائنات بيولوجية تكمن في المنطقة البينية الواقعة بين الخلايا الحية والكيميائيات الجمادية ، وتتألف من البروتين وحامض النوويك بدون أية مكائن (machinery) خلوية للتكاثر والتأيض . ولما كانت الفيروسات تنقصها وسائل التوالد فانها تتواصل او تتآبد بطريقة حشر عاملها التكويني (genetic factor) في الخلايا فتستولي على ماكنة الخلية الموبوءة أو المعدوة لتقوم بإنتاج نسخ من الفيروس . لذلك ، فان بلورة الفيروس كقدر من الملح أكد للعلماء احتمال امكانية عزل الجينات في النهاية ودراستها كمركبات كيميائية (chemical compounds) . وبذلك تقدم اساس الحياة خطوة أقرب الى كونه مسألة كيميائية صرف .

ثم في عام ١٩٤٤ قام الفيزيائي الشهير النمساوي الولادة أرفين شرودينغر (٥) (Erwin Schrödinger) المقيم في دبلن كلاجيء من المانيا النازية ، بنشر كتيب صغير بعنوان « ما هي الحياة ؟ "What is Life?" » وفي هذا الكتيب شدد على زملائه الفيزيائيين ان البيولوجيا كانت بلغت عتبة مسألة اساس الحياة



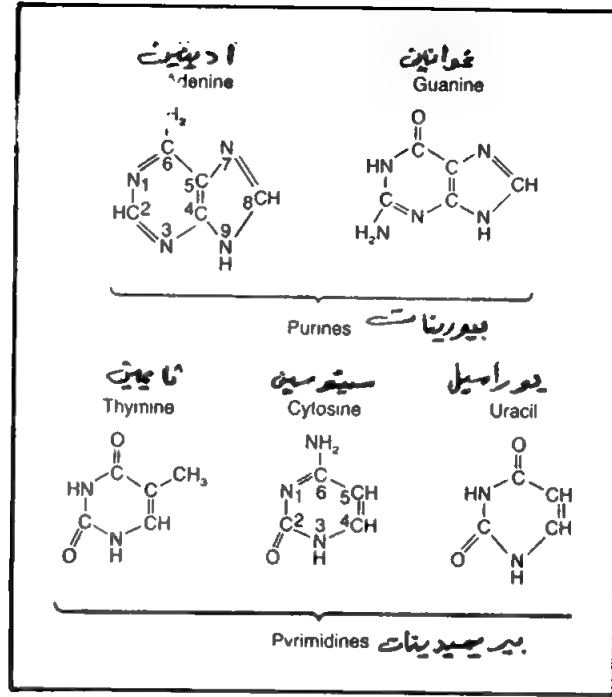
البالغة الخطورة وانه يتوجب عليهم التجلد وعدم التراجع أمام صعوبة تفسير الحياة بمنطوق القوانين الفيزيائية العادية ، وأكد عليهم وجوب السعي الى ايجاد كيفية تمكنهم من تفسير البيولوجيا على المستوى الجزيئي.



الشكل ١/٨ - صور صوتية بالمجهر الالكتروني لفيروس التؤلل البشري.
والفيروس قيص (shell) عشريني الاسطح يتضمن دنا DNA.
وهذا الفيروس بالذات لا غلاف له، والصورة مكبرة مائة وعشرين
(١٢٠) الف مرة.

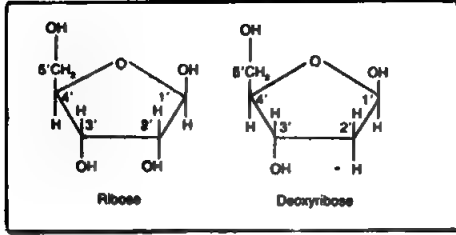
يمكن حل اللغز في الفيروسات التي تغذي البكتيريا والمسماة بأكلة البكتيريا أو البكتيرية الاغتذاء (bacteriophages) • ففي عام ١٩٥٢ قام الفريد هيرشي (Alfred Hershey) ومارثا تشيس (Martha Chase) بالتدليل على أن (DNA) آكل البكتيريا يدخل في البكتيرة وانه هو لوحده المسؤول عن تكاثر الفيروسات الجديدة ، وذلك باستعمال الفوسفور والكبريت الاشعاعين كمعالم لتمييز ومتابعة البيوكيميائيات المعينة. فذهل البيولوجيون لهذه الشواهد الباهرة على أن الشكل الكيميائي للجينات هو حامض النوويك، بعد أن كانوا يعتبرون ان البروتين هو مادة الوراثة • وسجل هذا الاكتشاف بداية علم البيولوجيا الجزيئية (molecular biology) •

عندما قام كوسل (Kossell) بتحليل حامض النوويك في القرن الماضي وجد اثنتين من البيورين (purines) اسماهما بالادينين (adenine) أو الغدائين وهو قاعدة بيورينية بلورية بيضاء صيغتها $C_5H_5N_5$ مشتقة من حامض النوويك المتكون في غدة البنكرياس والطحال (الخ) والغوانين (guanine) = قاعدة عضوية صيغتها $C_5H_5N_5O$ وهي أحد مقومات حامض الريبونوويك ribonucleic acid أو رنأ (RNA) والحامض الخلوي الصبغي دنأ (DNA) وموجودة في جميع الانسجة النباتية والحيوانية)، واثنتين من البريميدين (pyrimidines) اسماهما بالسيتوسين ($C_4H_5N_3O$) = قاعدة نيتروجينية cytosine أحد مقومات الحوامض النوويك المختلفة وأحد المواد المكونة للدستور التكويني في جزيئات الدنأ (DNA)، والثايمين (thymine) = قاعدة يريميدينية بلورية بيضاء $C_5H_6N_2O_2$ وأحد المواد المكونة للدستور أو المدونة التكوينية "genetic code" في جزيئات الدنأ • وبعد ذلك أفضت البحوث التي أجريت على حامض نوويك النبات الى اكتشاف بريميدين ثلاثة اسميت باليوراسيل (Uracil - أنظر الشكل ٢/٨) •



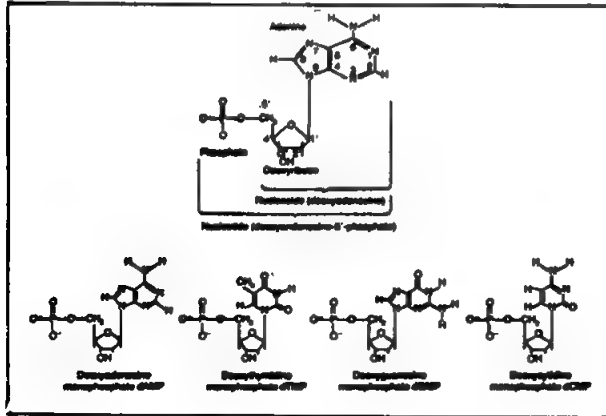
الشكل ٢/٨ - بنى الادين والفواتين والثايمين والسيتوسين واليوراسيل

في عام ١٩١٠ وجد ليفين (Levine) من معهد روكفيلر ان حوامض النوويك ايضا تضمنت سكر خماسي الكربونات (five-carbon sugar) فقد تضمن حامض النوويك من النباتات سكر الريبوز (ribose sugar) بينما تضمن حامض النوويك الحيواني نفس السكر انما ناقصا أو كسجينه واحدة فقط وبناء على ذلك أطلق عليه اسم دي اوكسي ريبوز (Deoxy ribose - أنظر الشكل ٨/٠٣)



الشكل ٣/٨ - بنى الريبوز والديوكسيديوز

تتألف الوحدات البنوية لحامض النويك من قاعدة البيورين والبيوريميدين مربوطة بذرة الكربون الطرفية (رقم ١) من السكر ويتضمن الجزء السكري مجموعة فوسفاتية ملتصقة به. وهذه المقومات الثلاثة، أي القاعدة والسكر والفوسفات، تشكل معا نووتيدة (nucleotide) • وعندما تنضم النووتيدات من خلال دايستر فوسفاتي (phosphate diester) برابط (3'5'-linkage) من سكاكرها فانها تخلق السلاسل الطويلة المعروفة بحوامض النويك (انظر الشكل ٤/٨) •



الشكل ٤/٨ - بنى النووتيدات القليلة الاوكسجين او الديوكسي نووتيدات

وسرعان ما بدا واضحا انه يوجد نوعان من حامض النوويك، ويسمى بحامض الدي اوكسي ريبونوويك deoxy ribonucleic acid المصطلح عليه بالعربية بالحامض الخلوي الصبغي واختصاره دنا (DNA) (أنظر الشكل ٥/٨)، والنوع الآخر من حامض النوويك ايضا يتضمن أربع قواعد ولكنه احتوى على اليوراسيل (uracil) بدلا من الثايمين (thymine)، ولما كان سكر اليوراسيل ريبوزا فقد أطلق عليه اسم حامض الريبونوويك ribonucleic acid ويرمز اليه هنا بالاختصار رنا RNA على غرار زميله السابق ذكره.

وأخيرا ادرك البيولوجيون ان النوعين من حامض النوويك، الدنا (DNA) والرنا (RNA) لا يميزان النباتات والحيوانات بل ان كليهما موجود في جميع الكائنات الحية، وتبين ان المبادئ التكوينية (genetic principles) متواجدة بالاستواء في جميع أشكال الحياة، وان استمرارية المواد الحية من خلال التكاثر مبنية على تكاثرية الجينات التي يجري نسخها ومناولتها من جيل الى جيل، مع كون مادة التوارث هي نفسها في الفيروسات كافة والانسان على حد سواء، وهذه المادة هي المسماة بالدنا (DNA) •

يجري استعمال فقط اربع وحدات كيميائية أساسية لخلق المطبوعة (blueprint) في سياق مدستر (coded sequence) من الوحدات في جزيئة معلوماتية حيث يمكن ان يمتد الوزن الجزيئي الى آلاف الملايين حتى في البكتيريا. يؤلف مقطع من الدنا جينة تحمل المعلومات لسياق الحوامض الامينية لبروتين معين. ويمكن ان يمتد عدد الجينات في البكتيريا الى الآلاف، ولكنه يبلغ حتى المائة الف (١٠٠ ٠٠٠) في الثدييات.

ان التكاثر الخلوي هو في النهاية تكاثر جزيئي، وتبين ان الطبيعة الفريدة للبنية الكيميائية لحوامض النوويك تتيح لهذه البيوبوليمرات ليتم استساخها بدقة صادقة • وفي البروكاريوت، مع الدنا المستدير فيها،



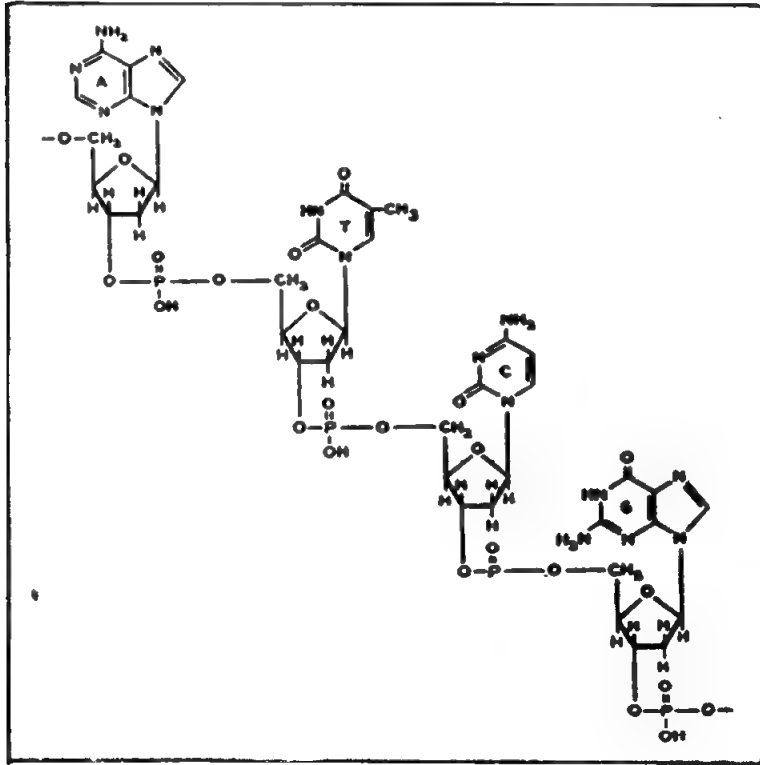
يتألف التكاثر الخلوي من تناسخ حامض النوويك متبوعا بالانشطار الثنائي لخليتين ابنتين تحمل كل منهما الكمية التامة من المادة الخلوية . ان كيمياء هذه بسيطة ومباشرة ويجب عليها أن تمثل طريقة التناسخ المتخذة في أعقاب نشأة المنظومات الحية الاولى . اما الخلايا اليوكاريوتية ، من جهة أخرى ، فتمتلك طرائق تكاثرية دقيقة ومحكمة لدرجة تجعل من المحتم انها قد استغرقت زمنا طويلا جدا للنشوء .

ولكي يتمكن الدنا أن يكون المستودع المعلوماتي للخلية فانه قد تحتم تواجد طريقة كيميائية لتصنيع النسخ الجزيئية . انما قبل محاولة تفهم كيفية انجاز هذا استلزم الامر تحديد الترتيب البنوي التامة والتحقق منها . ان حوامض النوويك هي بولي نووتيدات (Polynucleotides) متواجدة بشكل سلاسل طويلة غير متفرعة ، لكن فقط التضريس الثلاثي الابعاد المضبوط فيها يمكن أن يكشف عن طريقة اشتغال وظيفتها البيولوجية . وهذا أطلق البحوث للكشف عن سر ريادة الدنا (DNA Architecture) .

في عام ١٩٥٠ حقق أروين تشارغاف (Erwin Chargaff) وتلاميذه في جامعة كولامبيا اكتشافا غريبا . فقد لاحظ هؤلاء بعد تحليل تركيبة اليورين والبريميدين في الدنا المختلفة بعناية فائقة ان عدد قواعد الادنين تقريبا دائما تساوى مع عدد الثايمينات ، وان عدد قواعد الغوانين والسيتوسين ايضا كان تقريبا متساويا . وبعبارة أوضح وجدوا أن (ملاحظة: يجب قراءة المعادلات والصيغ الرياضية دائما من اليسار الى اليمين، سواء كانت بالاعداد أو الحروف) وجدوا أن $A=T$ و $G=C$ ، وكانت هذه هي الحال بالرغم من التفاوتات الكبيرة في مقادير $A=T$ بالنسبة الى $G=C$ في الدنا المختلفة . وفيما كان مختبر تشارغاف يقوم بتحليل التركيبة القاعدية للدنا ، كان روزالند فرنكلين (Rosalind Franklin) وموريس ويلكنز (Maurice Wilkins)



من كلية الملك بلندن يستخدمان كريستالوغرافيا الاشعة السينية (x-ray crystallography) للحصول على بعض المقاييس الدقيقة للدنا • وفي كاليفورنيا قام لايناس بولينك (Linus Pauling) وزملاؤه^(٧) في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا بمحاولة لحل مشكلة بنية الدنا باستخدام أطوال وزوايا الروابط الخاصة بالمناظرين الكميّين (quantum theorists) للاهتمام بها في تشييد نماذج ذرية (atomic models) • كانت كلتا جماعتي كيميائيي لندن ومعهد كاليفورنيا تميل الى الاعتقاد بأن جزيئة الدنا تتضمن ثلاث سلاسل بولي نووتيدية.



الشكل ٥/٨ - جزء رباعي النووتيدية من وهن واحد من الذي ان اي يتألف من دي اوكسي نووتيدزات الادنين (A) ، والشايمين (T) والسيتوسين (C) والفوانين.

كانت الروابط الهيدروجينية هي قوة الاجتذاب الرئيسة التي بوسعيها ان تمسك اوهان النبولي نووتيد معا. لكن الاربطة الهيدروجينية ضعيفة بالمقارنة بالاربطة الثنائية التكافؤ ، ويتطلب قوة بقدر ١٢ الى ٢٤ كيلو جول بالمولة (KJ/mole) = (الكيلوجول الواحد = ٢٣٩٠ كيلو سعة او كالوري والمولة Mole هي الجزيئي الغرامي، ويرمز الى هذه لاحقا هنا بـ كج للكيلوجول ، وكج/م للكيلوجول بالمولة)، لكسر رابط ثنائي التكافؤ ، بينما تكفي طاقة تتراوح ما بين واحد الى ثلاثة (١-٣) كج/م لكسر الاربطة الهيدروجينية. مع ذلك ، للاربطة الهيدروجينية أهمية عظمى في البيولوجيا كونها بالاصل مسؤولة عن نوعية (specificity) التفاعلات ما بين الجزيئات الضخمة (Macromolecules)

من بين المسائل الخطيرة المحرجة حول بنية الدنا كانت هل ان القواعد متجهة الى الخارج أو الى مركز الجزيئة . اقترح بولينك انها كانت متجهة نحو الخارج، لكن روزالند فرانكلين شعرت انها تملك الشواهد على ان الفوسفات كانت متجهة نحو الخارج وان القواعد كانت متجهة نحو المركز.

كان هذا هو الوضع القائم في عام ١٩٥١ عندما وصل جيمز واطسون (James Watson) ، وهو زميل امريكي في الثانية والعشرين من عمره في الدراسات العليا لما بعد الدكتوراه، وصل الى كمبرج والتقى بفرنسيس كريك (Francis Crick) وهو فيزيائي يعمل للحصول على درجة الدكتوراه في الفيزياء. الحيوية او البيوفيزياء. ورغم ان كريك كان في الظاهر يعمل في البحوث الخاصة بالبروتين وان واطسون كان مركزا اهتمامه في بنية فيروس موزاييك التبغ (Tobacco Mosaic Virus)، فان كليهما كان شديد الاهتمام بالدنا واعترضا على التعاون معا على حل لغز بنيته.

كشفت انماط الحيود (diffraction) للاشعة السينية لفرانكلين عن تضريس منتظم ومتراص، وكان بولينك قد دلل على ان البنية اللولبية هي

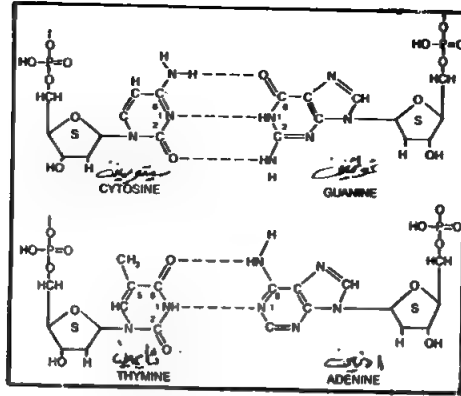


التضريسة المفضلة للجزئيات الضخمة ، وهذا الهب شغف كريك باللولبيات أو الحلزونية (helix) . لكن المسألة الخطيرة الاهمية كانت الاساس الكيميائي للطريقة التي تستخدمها المتعضيات لاستنساخ الدنا الخاص بها . على ما يظهر كان لليورينات والبريميدينات اهميتها الخاصة بها . واستنادا الى التعليل ان الطبيعة تنزع الى عمل الاشياء في ازواج، نبذ واطسون فكرة الثلاثية الاوهان وارتأى انه من الاكثر معقولة بناء نموذج من وهين مفتولين على بعضهما مع القواعد موجهة نحو المركز، وبعدما عمل قطعا من المقوى لتمثيل القواعد الاربع حاول بناء نموذج بالاربطة الهيدروجينية مع كل قاعدة مواجهة لقاعدة مماثلة بحسب ما أمكن تصور حصول عملية نسخ وهن من الاوهان . لكن هذا النموذج لم يأت متراصا كما تبين من الدراسات بالاشعة السينية . وكما أشار جيرى دوناھيو (Jerry Donahue) وهو خير كريستالوغرافي امريكي يعمل بنفس المختبر، كان واطسون ، تماما كجميع الآخرين، يستخدم الشكل التعادلي التماثلي (tautomeric) الخاطيء للقواعد، وشعر دوناھيو ان القواعد تواجدت بشكل الكيتو (Keto) وليس بشكل الاينول (Enol) .

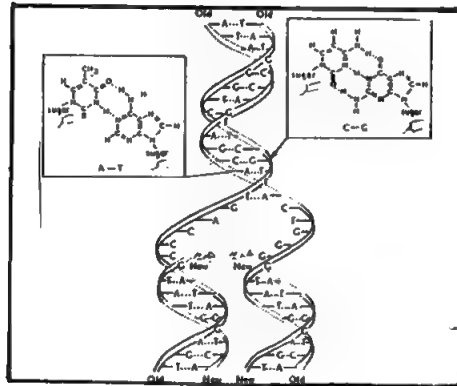
(ملاحظة: Keto هي البادئة الدالة على الكيتون Keton وهو مركب كيميائي عضوي يتضمن مجموعة الكاربونيلات carbonyls الثنائية التكافؤ CO بالاتحاد مع اساسين هيدروكاربونييين اثنين —2 hydrocarbon radicals— اما الاينول Enol فهو الشكل التماثلي التعادلي لمركب compound يتضمن المجموعة —(>C:C(OH)) .

وبناء على هذا قام واطسون باعداد قصاصات مقوى جديدة وحاول مرة أخرى تركيب الازواج القاعدية لاعداد نموذج، وفي هذه النقطة اكتشف ان القصاصات الخاصة بالادين مع الثايمين كانت من نفس شكل وحجم قصاصات الغوانين مع السيتوسين، وعلى حين غرة اتضح له مغزى نسبتي تشارغاف: $A=T$ ، $G:C$.





الشكل ٦/٨ - ترتيب أزواج النوتيد في الدنا



الشكل ٧/٨ - رسم ايضاحي بين انفكاك تلافيف جزيئة الدنا وتناسخها.



ونظرا لامكانية مسك أزواج الادلين-ثايمين والعوانين-ستوسين معا على الاقل برابطين هيدروجينيين اثنين لاعطاء أشكال متطابقة التشابه تقريبا فان النموذج سيكون متمشيا مع الترتيبية المتراصة المينة في التحليل بالاشعة السينية . وبدلا من الاستنساخ من خلال توليفة المثل-مثل كشف النموذج عن ان جزيئة الدنا تتألف من وهين اثنين من سلاسل البولي نووتيد مفتولين في لولب مزدوج ممسوكا معا بالاربطة بين القواعد المتتامة ، مع احد الوهين يقوم بوظيفة «السالب» والآخر بوظيفة الموجب . وامكن تحقيق الاستنساخ بفك التلايف حين أصبح كل وهن مفرد مرسومة (template) للوهن المتتام الجديد (أنظر الشكل ٨/٧) .

وخلال ثمانية عشر شهرا كان واطسون وكريك قد شيذا نموذجا للدنا مطابقا للبيانات الفيزيائية أظهر ليس فقط الشكل الثلاثي الابعاد للدنا وانما ايضا الطريقة التي تناسخت الجزيئة بها . وبما ان نتائجها نشرت للمرة الاولى في عام ١٩٥٣^(٨) فقد تراكم قدر كبير من الشواهد يؤيد بنيتها المقترحة ، لتبرز الاعجب من بينها طريقة آرثر كورنبرج^(٩) Arther Kornberg لتمثيل جزيئة دنا نشيطة بيولوجيا في أنبوبة اختبار .



الفصل التاسع - من المطبوعة الى المتعضية

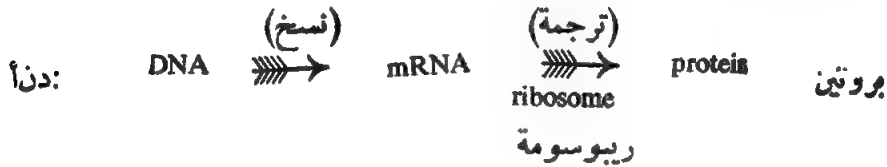
أطلقت تجربة ميلر الافتعالية للاحوال الجوية على الارض البدائية البحوث حول كيفية ابتداء الحياة ، وذلك بايضاح الطريقة التي تكونت بها اللبنات البنائية قبل ظهور الخلايا الاولى . ومن بين هذه اللبنات البنائية هي النووتيدات (nucleotides) التي تلتئم ببعضها لتشكل حوامض النوويك (nucleic acids)، وحامض النوويك (دنا DNA) هو الاساس الجزيئي لقدرة الحياة على التكاثر . لكن الدنا ليس سوى جزيئة معلوماتية كما هي الحال بالنسبة الى شريط الكمبيوتر ، والبروتينات ، بتتويعتها وأدوارها الهائلة، هي الكيماويات الاكثر مباشرة مطلقا والمسؤولة عن شكل، وتركيبه ووظيفية المتعضية . يتم انجاز الغرض البيولوجي للدنا بنقل المعلومات المدونة في بنيته الكيمايئة وترجمتها الى بنى بروتينية . فكيف اذن يتم خلق البروتينات من بنية الدنا؟

يوجد نوعان من حوامض النوويك هما الدنا والرنا . والدنا هو الجزيئة التي تعمل كمستودع للمعلومات الوراثية ويتواجد في نواة الخلية . أما الرنا، من جهة أخرى، فيتواجد في كل من النواة والسيتوبلازما معا . يحصل تمثيل البروتين في السيتوبلازما . وحتى في السنوات الاربعينية من هذا القرن، ابان كان لا يزال يجهل ان الدنا هو مادة الجينات ، دلت البحوث التي قام بها توربيون كاسبرسن^(١) (Torbjorn Caspersen) في ستوكهولم وجان براخت^(٢) (Jean Bracht) في بروكسيل على ان الرنا يدخل بكيفية ما في تمثيل البروتين .

في عام ١٩٥٠ تمكن هنري برزوك وزملاؤه^(٣) (Henry Borzook) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، وتوره هوتلين (Tore Hutlin) من معهد وينر-غرين



بستوكهولم، كل جانب على حدة ومستقل عن الآخر ، من تشخيص الميكروسومات التي سميت لاحقا بالريبوسومات (ribosomes) في السيتوبلازما كالموقع الذي يتم تمثيل البروتين فيه . لا يعمل الدنا مباشرة كمسومة (template) لتمثيل البروتين ، انما بدلا من ذلك، تجري ترجمة سياق الدنا الى جزيئة رنا التي يجري نسخها من الدنا بنفس الطريقة التي يتم بها استنساخ الدنا، ونسخة الرنا من الدنا هي الرنا الرسول (=mRNA messenger RNA) التي تحمل المعلومات الوراثية في سياقها الى الريبوسومة لترجمتها الى سياق الحوامض الامينية من البولي هضميتيد (polypeptides) :



في اواسط الخمسينات من هذا القرن ظن البيولوجيون ان الرنا الريبوسومية هي بالذات المرسومة (template) لتمثيل البروتين وتضمنت الفجوات أو الثقوب التي كانت متسة لشكل الحوامض الامينية التي يتم منها تشييد البروتين. لكن لم يتمكن أحد من تشييد نموذج من الرنا مع الثقوب المعينة يمكن تصوريا ان يعمل بمثابة مرسومة . وكان فرنسيس كريك هو الذي أدرك ان الحوامض الامينية لا تجتلس (fit in) مباشرة في جزيئة المرسومة وانما تحتاج الى جزيئة موضبة (adapter) نوعية للحامض الاميني الذي يميز الموقع المخصوص في المرسومة.

كان ماهلون هوغلاند (Mahlon Hoagland) من جامعة هارفارد قد اكتشف صنفا من الرنا تعذر ترسيبه بعملية النبد المركزي (centrifugation)



وظل ذائبا في المحلول. وبالنتيجة اطلق ماهلون على هذه الرنا الذائبة، غير انه لم يمض وقت طويل قبل أن يدرك البيولوجيون أن رنا هوجلاند الذائبة كانت هي نفسها جزيئات كريك الموضبة، وخلال فترة قصيرة تم إيجاد رنا ذائبة نوعية لكل من الحوامض الامينية العشرين، وطبقا لدورها الفعلي، أصبحت تعرف باسم رنا الناقله (transfer RNAs=tRNAs) *

وعند تسبيق أو ترتيب سياق جزيئات الرنا الناقله تبين ان جميعها تضمنت (CCA) في نهاية البولي نووتيد التي تحتوي على السكر مع مجموعة دايدروكسيل (hydroxyl group) سائبة على 3-كاربون (3'- carbon) ، وهي النهاية التي يرتبط بها الحامض الاميني. ايضا، لما كانت نسبة A/U و G/C تناهز التساوي، فانه توجد امكانية ازدواج (pairing) قاعدي كبيرة ضمن الجزيئة. كما لاحظ روبرت هوللي وزملاؤه^(٤) (Robert Holley) بجامعة كورنيل ان الرنا الناقله تحتوي على عدد من القواعد اللاعادية التي تختلف عن الادين والفوانين والسيوسين واليوراسيل باستبدالها بمجموعة واحدة أو أكثر من مجموعات ميثيل (methyl groups) في مواضع مختلفة في بنياتها.

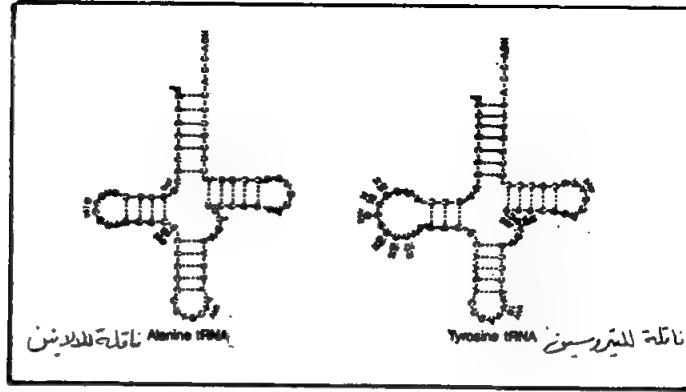
كان روبرت هوللي وآخرون قد انجزوا تحليلا تاما لرنا ناقله للالانين (alanine) في عام ١٩٤٥، وفي العام التالي أعلن ماديسون (Madison) وزملاؤه^(٥) عن اكتشاف سياق النووتيد في رنا خميرية ناقله للتيروسين tyrosine. (ملاحظة : alanine : حامض اميني طبيعي غير جوهري صيفته $\text{CH}_3 \text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ، بلور شفاف يذوب في الماء ويستخدم في البحوث الكيميائية وفي دراسات تآيض الحوامض الامينية. tyrosine : حامض اميني بلوري ابيض غير جوهري صيفته $\text{C}_9\text{H}_{11}\text{NO}_3$ ، يتكون من تفسخ البروتينات كما في انتان الجبنه). كانت البنيتان المقترحتان لهذين الرنا الناقلين هما



تضريسة ورقة البرسيم (clover-leaf configuration) ممسوكتان معا بروابط هيدروجينية مع قواعد (CCA) في موضع ثلاثي التكافؤ (3') وتنشزان بارزتين . وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياقات حوالي خمس وسبعين (٧٥) جزيئة رنأ، ويمكن تنظيمها جميعها في نفس طية ورقة البرسيم .

تتضمن الانشوطة الوسطية من ورقة البرسيم في النهاية المقابلة من (CCA) فالوثا من القواعد اللامزدوجة التي تشكل كودونة مضادة (anticodon)

والكودونة codon = مجموعة صغيرة من الوحدات الكيميائية تتألف من سياق ثلاث نووتيدات تقوم بتدوين دمج حامض اميني معين في جزيئة بروتينية أثناء تمثيل البروتين). وهذه القواعد الثلاث هي متممة لثالث القواعد في الرنأ الرسول (mRNA) التي تمثل كودونة (codon) ، أو كلمة واحدة من المعلومات الموجودة في الرنأ الرسول والتي تترجم الى حامض اميني واحد. تتراوح الرنأ الناقلة (tRNA) في عدد النووتيدات من (٧٤) و(٩١)، ولكن من بين جزيئات الرنأ الناقلة المختلفة تبدو المسافة الاجمالية من النهاية عند (CCA) الى الكودونة المضادة في النهاية الاخرى ثابتة ، ويتم تعويض الفارق في عدد النووتيدات بحجم الانشوطة الصغيرة الكائنة بين الطرفين (limbs) الايمن والاسفل . كذلك، تقع القواعد اللاعادية في مناطق لا تشكل الاربطة الهيدروجينية . وعلى نقيض الاشكال الاخرى من الحوامض النووية ، يتوجب على الرنأ الناقلة أن تتألف من بنية ثلاثية الابعاد نوعية للغاية ، وهي من هذه الوجهة في الواقع تشبه البروتينات .



Alanine tRNA

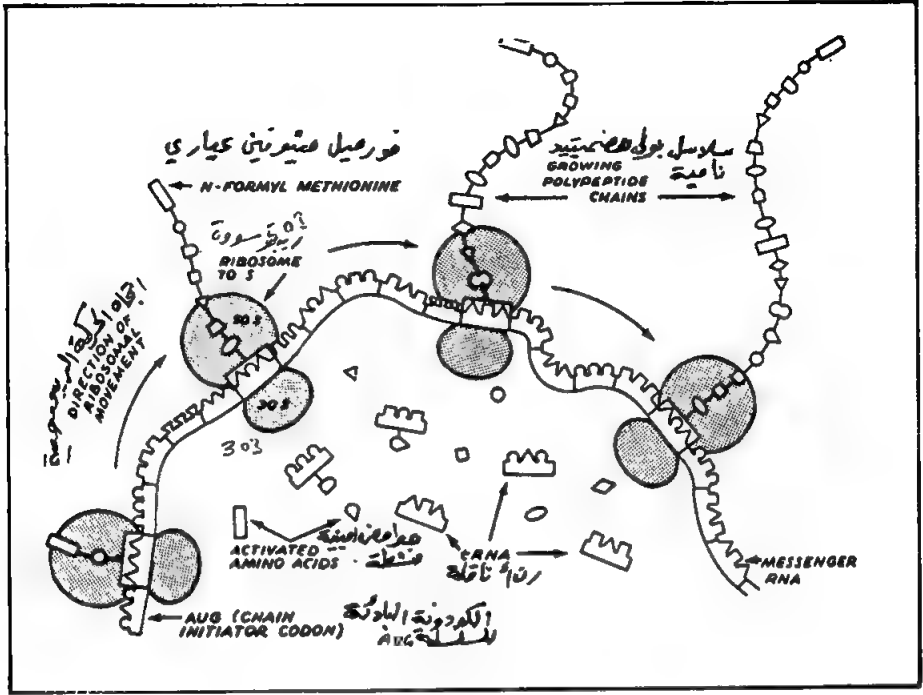
Tyrosine tRNA

الشكل ١/٩ - البنية المقترحة للـ RNA الناقلة للالانين والـ RNA الناقلة للتيروزين.

يجري اعداد الحوامض الامينية للاستخدام في تمثيل البروتين بتشيطها في تفاعل مع ثلاثي فوسفات الادنوسين (أتب) (adenosine triphosphate ATP) الذي يستلزم الانزيمه امينواسيتيل رن أسنتياز (aminoacyl RNA synthetase) فيكون الناتج عقدة او تشبيكة (complex) منشطة من الحامض الاميني انزيم-امب (enzyme-AMP) الذي ترتبط فيه مجموعة خماسي الفوسفات (5' phosphate) من الادنوسين الاحادي الفوسفات = (أمب) (AMP=adenosine monophosphate) كأنهريد مختلط (mixed anhydride) بمجموعة الكربوكسيل (carboxyl) من الحامض الاميني. ويتم شطر البيروفوسفات (prophosphate) من الأتب (ATP) المنشط في العملية ، على هذا النحو:

وفي الخطوة التالية يجري نقل جزيئات الحامض الاميني المنشط بواسطة ائزيمية أخرى الرنأ الناقلة النظرية او الوفيقة (corresponding) • توجد رنأ ناقلة خاصة لكل حامض اميني، وائزيمية نوعية (specific) لكل حامض اميني يجري ضمه الى الرنأ الناقلة • بعد ذلك تنتقل عقدة الرنأ الناقلة (t RNA complex) المتضمنة للحامض الاميني الى ريبوسومة (ribosome = جسيمة كروية دقيقة تتألف من الرنأ والبروتينات ، ومتواجدة بأعداد كبرى في سيتوبلازما الخلايا • ويتم تصنيع أو تمثيل البروتينات على السطح الريبوسومي بعد نقل التعليمات التكوينية الى هناك من قبل الرنأ الرسول) •

بعدما تتكون الرنأ الرسول من الدنأ وتنتقل الى سيتوبلازما فيها ريبوسومات تنضم اليها الكودونة البادئة للسلسلة (AUG) (chain initiator codon) التي على سبيل المثال تقوم بربط الرنأ الناقلة فورميل ميثونيل العيارية (N-formyl- methionyl-tRNA) • تنتقل الريبوسومة في سلسلة الرنأ الرسول بقدر كودونة واحدة في المرة الواحدة متقبلة عقدة الرنأ الناقلة المعينة المتوافقة مع الكودونة، وموصلة الحامض الاميني بسلسلة الهضمييد (peptide) النامية • تواصل سلسلة الهضمييد نموها فيما تنتقل الريبوسومة على امتداد الرنأ الرسول ، وبهذه الطريقة تتمكن رنأ رسول مفردة واحدة من خدمة ست أو ثماني ريبوسومات بنفس الوقت • يوجد موقع نوعي واحد فقط في الريبوسومة يمكن لرابط الهضمييد أن يتكون فيه، انما تنمو سلسلة بولي هضمييد واحدة من كل ريبوسومة متنقلة على الرنأ الرسول ، ويتراوح معدل طول كل منها ما بين (١٢٥) الى (٤٠٠) حامض اميني •



الشكل ٢/٩ صورة إيضاحية للريبوسومات متحركة على رنا رسول، وتقوم بتمثيل البولي هضميتيدات.

يقوم سياق قواعد البيورين والبريميدين في وهن (strand) الرنا الرسول، المنسوخ بالاصل من الدنا النووي، بتوجيه ترتيبية الحوامض الامينية في عملية تمثيل البروتينات . وهذه المعلومات المحمولة في الرنا الرسول ليست في نووتيدات مفردة ، وانما تكمن في سياقات من ثلاث نووتيدات، أو ثلوث نووتيدي . وعليه فان المدونة التكوينية (genetic code) تتألف من ثلوثات (triplets) لا متداخلة تقع في سلسلة الرنا الرسول ، وكل ثلوث يؤلف كلمة رمزية ، أو كودونة .

بعد الفراغ من حل مسألة كيفية تخزين المعلومات الوراثية في الدنا ،
ونقلها الى الرنا الرسول، وترجمتها الى بنية بروتينية، بقي أمر فك رموز
المدونة بذاتها. فأية نووتيدات تتناظر أو تتوافق مع أية حوامض امينية؟
كان فيرنبرغ (M.W. Nirenberg) وماثايل^(٧) (J.H. Mathael) في عام ١٩٦١
أول من تمكن من فك رموز كودونة . فقد اكتشفا ان البولي نووتيدة
الاصطناعية (synthetic) المتضمنة فقط لحامض اليوريدليك، البولي يوريدليك
(uridylic, polyuridylic acid) يمكن أن تقوم مقام مرسومة للريبوسومات
المعزولة من البكتيرة ابي كولي (E. Coli) . وعند مزج البولي يو (poly U)
بمستحضرات الريبوسوم واطافة جزيئات الرنا الناقلة بعد ذلك، كل منها مع
حامضها الاميني النوعي، تم تمثيل بولي هضميتيدة احتوت فقط على الفيل
الانين (phenyl alanine) ومن هذا تمكنا الاستنتاج ان الكودونة للفيل الانين
كانت الثلاثي UUU .

وفي تجارب مماثلة قامت GUU بتوجيه عملية تمثيل البولي هضميتيدات
المحتوية على الفالين (Valine) ، وكانت UGU الكلمة الرمز لليسيتين
(cysteine) ، و UUG للوسين (leucine) . وفي الاخير، باستعمال كتل من
البوليمرات المتوازية ، وهي بولي نووتيدات ذوات سياقات متكررة لقاعدتين
او ثلاث قواعد، تم فك كل رموز المدونة التكوينية برمتها .



		الرسالة SECOND LETTER				
		U	C	A	G	
الرسالة الأولى FIRST LETTER	U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } Ser UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA } OCHRE UAG } AMBER	UGU } Cys UGC } UGA } UMBER UGG } Tryp	U C A G
	C	CUU } CUC } Leu CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Glu CAG }	CGU } CGC } Arg CGA } CGG }	U C A G
	A	AUU } AUC } Ileu AUA } AUG } Met	ACU } ACC } Thr ACA } ACG }	AAU } AspN AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G
	G	GUU } GUC } Val GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } GGC } Gly GGA } GGG }	U C A G

الشكل ٣/٩ - المدونة التكوينية • Genetic Code
 UAA - افر ، UAG - غير ، UGA - ظم ، هذه هي الكودونات
 المتضمنة للسلاسل • تستخدم AUG بمثابة الكودونة البادئة
 للسلسلة وتمثل الفورميل ميثونين في بكتيرة *E. coli* •
 وفي الوسط سلسلة بروتين تمثل الميثونين •

وكنتيجة للدراسات العديدة الاضافية تبين ان الحوامض الامينية تحتوي
 ليس فقط على ثوابث مخصصة لها وانما وجدت فيها ايضا كودونات تتضمن
 تعليمات خاصة • وعندما اكتشف البيولوجيون أن جميع البروتينات التي
 تقوم بكتيرة أي كولي بتمثيلها تضم عياري-فورميل ميثونين بمثابة عيار -
 فضلة الحامض الاميني النهائية ادركوا ان AUG كانت الكودونة البادئة او
 المحركة (initiator) تبدأ جميع البولي هضميتيدات بعياري-فورميل ميثونين الذي



يمكن استبقاؤه أو ازالته في وقت لاحق. تتضمن ثلاثة حوامض امينية ست كودونات ، وخمسة اربع كودونات، وعشرة كودوتين اثنتين . اما الثاليث UAA ، UAG ، UGA ، فوظيفتها انهاء السلاسل، أي تبرق أو ترسل الإشارة الى الهضمية لتنتهي في تلك النقطة.

وعلى نقيض البروتينات ، ان حوامض النويك جزيئات شديدة عفية وهي مستقرة في الحوامض والقلويات اللطيفة أو المعتدلة ويمكن تسخينها تقريبا حتى درجة الحرارة مائة (°١٠٠) مئوية ، وهي أحوال تتحطم فيها البنى البروتينية الرقيقة الطرية ولا تتحملها. ولما كان بالامكان حلماًة البيبوليمرات الاخرى بدون المساس بحوامض النويك ، فان هذه الخاصية تسهل أمر عزل الدنا والرنا من المكونات الخلوية المختلفة . وخاصة أخرى ايضا تسهل من امر تنقية الدنا هي، على نقيض البروتين ، انه يوجد نوع واحد فقط من الدنا في المتعضية الواحدة.

كل من الدنا والبروتينات هي بوليمرات مبنية من وحدات فرعية نشأت لاغراض مختلفة . تحتاج البروتينات الى شكل وأصناف مختلفة من المجموعات الوظيفية لكي تتمكن من تحقيق النوعية (specificity) وانجاز الانشطة الكيميائية . ولتحصيل هذه تطلبت تنويعا من الوحدات الفرعية ، ووجدتها في الحوامض الامينية البالغ عددها عشرين او حوالي ذلك. أما الدنا، من جهة أخرى، فلم تحتج الى أشكال عديدة ، انما احتاجت فقط الى تخزين المعلومات ، ولتحقيق هذا الغرض توفر لها اختيارا . فقد كان بوسعها أن تستخدم القباء كبيرة (وحدات فرعية) ومعجما او عددا من «الكلمات» كبيرا، او كان بوسعها استعمال مجرد بضع رسائل تجعل الجزيئة المعلوماتية فيها طويلة للغاية . وفي النهاية اختيارات المنظومات البيولوجية دنا تتألف من مجرد اربع وحدات فرعية واستخدمت كلمات ثلاثية الاحرف مع معجم سعته

فقط أربع وستون (٦٤) كلمة. مع ذلك، فإن ورد رسالة الحياة يبدو ابدى،
اذ، في الاغلب، يمتد عدد الوحدات في جزئيات الدنا الى آلاف الملايين في
الواقع.

يمكن الجدل ان هذا هو كل ما احتاجت اليه الدنا لايواء عشرين حامضا
امينيا. لكن يوجد العديد من الحوامض الامينية الاخرى، غير هذه العشرين
كان بالامكان بنيتها كبروتينات . انما يقينا ان دنا مشيدة من اربعة انواع من
النووتيدات بدت وافية بالغرض وربما كانت الصنف الذي أثبت جدارته
وتفوقه على الترتيبات الاخرى الاكثر تعقيدا بكونه أكثر بساطة وأكثر
استقرارا مع كونه متراصا ومحكما . وربما لم تتواجد فائدة تجنى من استخدام
انواع اكثر من الحوامض الامينية لما كانت عشرون منها كافية للغرض المنشود.

غير ان الجواب على هذا ربما يعود الى سبب آخر. فقد كان بوسع
الخلية الناهضة أن تشيد بروتيناتها وحوامضها النووية من نخبة من الحوامض
الامينية والنووتيدات المتوفرة في البيئة البدائية . غير انه ما ان التزمت الخلايا
بنظام بيولوجي مكن ما حتى أصبح متعذرا عليها استدماج المزيد من اللبنات
البنائية . وربما ان الحوامض الامينية والنووتيدات المختارة كانت الوحيدة
المتوفرة في بيئة الارض البدائية.

الفصل العاشر - خيط متواصل

ان جميع الكائنات الحية الموجودة على وجه الارض مشدودة بخيط نشوء تطوري لا مرئي يمتد متوصلا بلا انقطاع الى جذور بداية الحياة الاولى . وهذا الخيط هو جزيئة الدي نأ الموجودة في كل خلية من خلايانا والتي تحمل المعلومات التكوينية لتشييد كياننا الحي بذاته . لقد تواجدت هذه الجزيئة منذ لحظة اختلاق أول الخلايا الحية قبل أكثر من ثلاثة آلاف واربعمائة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت، ومرت في اثائها بتغيرات وتطويلات ، وظلت تتناسخ جيلا بعد جيل بلا انقطاع حتى يومنا هذا . تبقت التغيرات القليلة التي وقعت في الجزيئة وتناقلت عبر الاجيال المتعاقبة ، وكل تغير وقع في جزيئة الدنا انعكس في تغير في بروتينتها المترجمة عن بنيتها .

توجد انواع كثيرة من البروتينات في الخلية الوظيفية تقوم بأداء أو متابعة جوهرية جميع التفاعلات البيوكيميائية . فالبروتينات هي التي تسيطر وتتحكم في جميع العمليات التآيضية ومنع أو قالب (matrix) العظام والاقياض، ونقل التفاعلات أو العوامل التفاعلية (reactants) ، وتمثيل أو تصنيع المقومات ، وحتى في اشكال جميع المنظومات البيولوجية وخواصها الآلية أو الميكانيكية ، وكل بروتينة مكيفة بدقة بينيتها الكيميائية لاداء دورها النوعي، وبنيتها الكيميائية بدورها هي التعبير المباشر لترتبية الحوامض الامينية المختلفة الموجودة في سلسلتها . وعليه فان أي تغيير يحصل في تركيبة الحوامض الامينية في البروتينة يكون له في معظم الاحيان اثر بالغ على كل الخلية أو المتعضية برمتها . مع ذلك، فهذا هو أساس التطور ، وبدونه لا يمكن للحياة أن تنشأ وتنمو مطلقا .

ان قابلية الجهاز (genetic apparatus) للتبدلات الكبرى (mutability)



هي التي تؤدي الى حصول التغيير في البروتينات • تؤلف الجينة قطعة او شدة (segment) من جزيئة الدنا وتحمل الرسالة المرموزة لتمثيل بولي هضيتيدة واحدة ، وهي بولي هضيتيدة ربما تكون هي بذاتها بروتينة ، او ربما تتألف او تتحد مع بولي هضيتيدات أخرى لتشكّل بروتينة . وعليه فاذا تغيرت نووتيدة بفعل التبدل الفجائي (mutation) في باطن الجينة يؤدي ذلك الى احداث تغيير في احدى الرسائل المرموزة فتجري قراءتها لحامض اميني مختلف يفضي بدوره الى حصول استبدال في السلسلة الهضيتيدية اثناء تمثيل البروتينة • تنجم التبدلات الكبرى او الفجائية في العموم عن انخفاض المستوى الخلقي للاشعاعية الطبيعية ، انما يمكن ايضا أن تسبب عن فعل بعض الكيماويات •

هذا هو التبدل الكبير على ابط المستويات وعلى نطاق بولي هضيتيدات مفردة • ويمكن عزو تنوع وتعدد الاصناف والانواع التكوينية (genotypes) الى اختلاف المضمومات الاليلية (allèle combinations) • والليل allèle = أي من زوجين من الجينات يقعان في نفس الموضع من كلا زوج من الصغوسومات وظيفته نقل الخلايا أو الخصائل المتوارثة) ، أو التبادل الصغوسومي ، أو الانقلاب (inversion) ، أو تغير ترتيب المضمومة (recombination) ، أو تعدد جموع الصغوسومات (polyploidy) • وبالنتيجة ، ما عدا في حالات التوأمين (twins) ، لا يوجد بين الانواع المتقدمة فردان مطابقا السمات تماما • وهذه التعقيدية في التكاثر جاءت بمجموعة أو طقم جديد (new set) من التبدلات الكبرى حصلت عن الاخطاء التي تقع في الطريقة المتبعة ، ويعبر خبراء النشوء الجزيئي (Molecular Evolutionists) اهتماما كبيرا لكل هذه التبدلات في جزيئة الدنا المفضية الى استبدال حامض اميني واحد في البروتينة المفردة • وهذا كيميائيا اكثر بساطة ويمكن دراسته تحليليا ورياضيا •

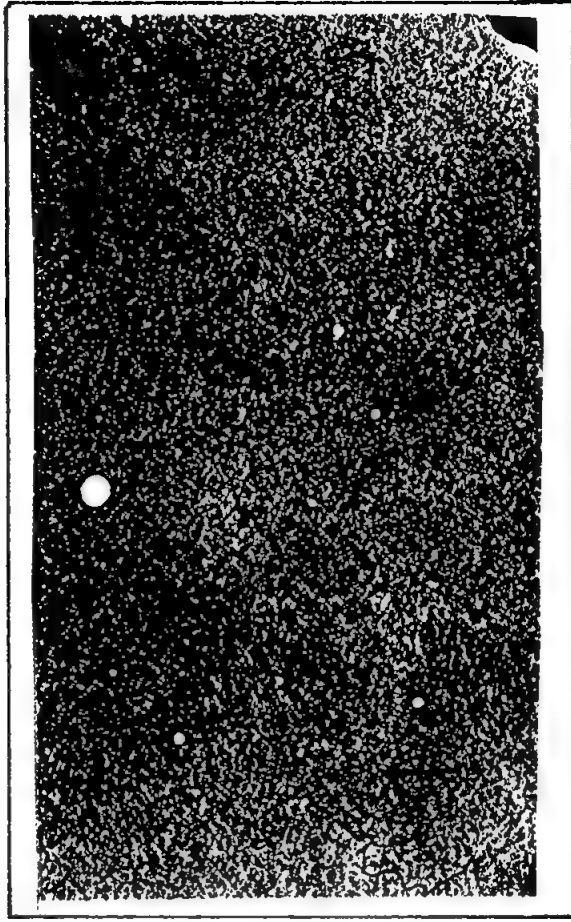


Figure 10.1. A molecule of linear double-stranded DNA. The bar represents 1,000 nm; magnification is 20,000 X.

الشكل ١٠/١ - جزيئة من الدنا المزدوج الوهن الخطي. والخط يمثل الف (١٠٠٠) نانومتر . والصورة مكبرة عشرين (٢٠) ألف مرة.

ان وتيرة وقوع التبدل الطفري، كعملية التفكك الاشعاعي، تشكل عاملا احصائيا ثابت الاستمرارية الى درجة باهرة . وتدل تقديرات أي تسوكر كاندل (E. Zuckerkandl) وايل بولينغ^(١) (L. Pauling) على ان كل حامض اميني في الهيموغلوبين يتعرض للاستبدال بالتبدل التكويني بمعدل وتيرة مرة واحدة كل ثمانمائة (٨٠٠) مليون سنة ، ولما كان الهيموغلوبين يحتوي على مائة واربعين (١٤٠) حامضا امينيا، فان هذا الاستبدال يقع في الجزيئة بمعدل (٥٠٧) مليون سنة، (أي كل خمسة ملايين وسبعين الف سنة).

كما أيد موتو كيمورا^(٢) (Motoo Kimura) ثبات دوامية هذه الوتيرة للاستبدال باجراء مقارنة بين عدد استبدالات الحوامض الامينية التي وقعت في السلاسل الهيموغلوبينية في الانسان وفي سمكة الكارب يتألف الهيموغلوبين من سياقين من البولي هضميتيدات تسمى بسلاسل الفا وبيتا (alpha and beta chains) نشأت من الهيموغلوبين العتيق ذي السلسلة الواحدة فقط . فالانسان وسمكة الكارب بهيموغلوبينهما الثنائي السلسلة منحدران من جد واحد مشترك ذي غلوبين (globin = الجزء أو العنصر البروتيني في الهيموغلوبين) بدائي عاش اثناء الحقبة الديفونية بين ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة واربعائة (٤٠٠) مليون سنة خلت، ويعتبر ان التفرع الى سلاسل نشوئية منفصلة وقع قبل حوالي ثلاثمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة . وقد وجد كيمورا في مقارنة سلسلتي الالفا والبيتا للهيموغلوبين البشري اللتين تأتيان من جينات منفصلة انهما تختلفان في مجموع عدد استبدالات الحوامض الامينية بقدر (٧٥) . وعندما قارن عدد الاستبدالات في سلسلة بيتا البشرية مع تلك في سلسلة الفا الكاربية وجد ان الفارق يبلغ (٧٧) جوهريا مماثلا . وبعبارة أخرى، بعد انفصال الانسان وسمكة الكارب من جد واحد قبل



ثلاثمائة وخمسة وسبعين (٣٧٥) مليون سنة تعرض كلاهما جوهريا الى نفس عدد التبدلات الطفرية في سلسلة الالفا من هيموغلوبينهما.

تضم انواع مختلفة العديد من نفس البروتينات مشتركة بينها تقوم بأداء نفس الوظيفة ، ولكنها قليلا من نوع الى نوع في تركيبة الحوامض الامينية . تسمى هذه البروتينات بالمتماثلة (homologs)، ويزداد تشابه تركيب البروتينات المتماثلة بازدياد تقارب أنساب الانواع . وفي عام ١٩٦١ اقترح فرنون انغرام^(٣) (Vernon Ingram) من معهد ماشوسيتس للتكنولوجيا امكانية استخدام وتيرة الاستبدال (substitution rate) في هذه البروتينات المتماثلة كساعة للنشوء التطوري الجزيئي.

تظهر درجة التشعب التباعدي (divergence) في تركيبة بروتينات الدم في الحيوانات المختلفة على الاخص في دراسات مصل الدم (blood serum) . اذ عند حقن الدم البشري في ارنب ينتج تجاوب الارنب المنيع أجساما مضادة (antibodies) للبروتينات البشرية . وعند خلط هذا المصل الضد بشري (antihuman serum) بدوره مع الدم البشري، يحصل تكتل (clumping) بنسبة مائة بالمائة (١٠٠٪) في بروتين الدم . كما ان خلط نفس المصل الضد بشري مع دم انواع أخرى يعطي نسب الترسب التالية : في الغوريلا ٦٤٪، في الانغوتاز ٤٢٪، في قرد البابون ٢٩٪، في الثور ١٠٪، في الغزال ٧٪، في الخيل ٢٪، في الكنفارو ٠٪، وهذه مقايسة دقيقة جدا للتشابه والانتساب الكيميائي، ويتناظر ترتيب النسبية فيها مع الشواهد المستحصلة من التفسير المقارن والامبريولوجيا (علم الاجنة) المقارنة والاحاثية او اليانتالوجيا المقارنة.

ويمكن لدارسي النشوء الجزيئي الآن اجراء مقارنة مباشرة لهذا التشعب



التباعدي لتركيبه الحوامض الامينية في البروتينات المتماثلة . وقد قامت مرغريت دايهوف وزملاؤها (Margaret Daihoff) بنشر السياقات المعروفة للبروتينات سنويا منذ عام ١٩٦٥ من المؤسسة الوطنية للبحوث البيوطبية (biomedical) وذلك في «اطلس سياقات وبنى البروتينات» . وقد ازداد عدد القيود من (٥٠) في عام ١٩٦٥ الى (٤٠٩) في عام ١٩٧٢^(٤) . ويمكن بالسياقات المعروفة للبروتينات المتماثلة المأخوذة من عدد من الانواع اجراء مقارنة لتحديد مدى تعرض كل نوع لاستبدال الحوامض الامينية في البروتين بفعل التبدل الطفري .

كانت السيتوكروم سي (cytochrome C) من بين اوائل البروتينات التي نمت دراستها من قبل عمانوئيل مارغولياش (Emanuel Margoliash) من مختبرات آبوت والتر فيتش (Walter M. Fitch) من مدرسة طب جامعة وسكونسون^(٥) . يمكن استخراج وتنقية بروتين هيم (heme protein) هذا بسهولة وهو موجود في كل ميتوكوندريوتة للخلايا اليوكاريوتية ، أي لجميع الكائنات الحية ما فوق البكتيريا والطحالب الخضزرقاوية . وعليه فانه يمثل تعبير أو ظهور لجينة واضحة متميزة متواجدة منذ حوالي الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت .

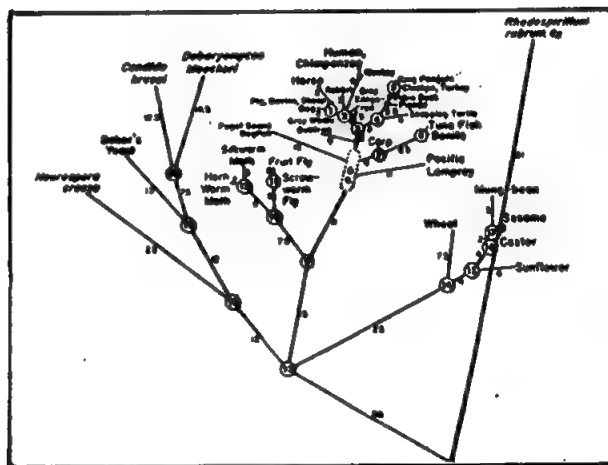
في الفقريات تتضمن السيتوكروم سي (١٠٤) حوامض أمينية ، وأكثر من ذلك بقليل في غير الفقريات . ونظرا لشدة تطابق شكل هذه السيتوكروم البنيوي بمقدرتها على اداء وظيفتها بالتفاعل مع اوكسيداز السيتوكروم ويريد اكتاز السيتوكروم (cytochrome oxidase-reductase) فقد أسفر ذلك عن الحفاظ على سطح البروتين . ان أي تبدل طفري يؤدي استبدال الحوامض الامينية فيه الى تغيير شكل البروتين يعتبر ضارا وبالنتيجة فانه يندثر ولا يبقى . وكنتيجة ، يبقى خمسون بالمائة (٥٠٪) من الجزيئة بلا تغيير، وضمن الحوامض

الامينية المتغيرة توجد تسعة عشر منها على الاخص تلعب دورا في تطابق البولي هضميتيدات، وستة أخرى قد بقيت على حالها لأسباب غير معلومة . توجد ايضا دوامية لشدف البروتين القاعدية والتنافرية للماء أو اللاليفة للماء (hydrophobic) ، كما ان بعض فئات الحوامض الامينية تبادلية تحولا ، أو على نطاق كبير.

في دراسة ابعاد التبدل الطفري بين السيتوكرومات سي لعشرين نوعا تمتد من الخميرة الى الانسان ، وجد فيتش ومرغولياش صلة بين النسبية التصنيفية للانواع وعدد الفوارق الفضلة ، وتضاءلت الفوارق أو انعدمت في بروتينات الانواع القريبة الاتساب، بينما كانت أعظم الفوارق في الحوامض الامينية لدى الانواع الاشد اختلافا. وتميزت سلالات القروذ والانسان بطفرة تبدلية واحدة في سلاطة الانسان أسفرت عن استبدال الحامض الاميني ثريونين (threonine) بالحامض الاميني ايسوليوسين (isoleucine) في موضع واحد. واختلف الحصان عن سمكة التونا (tuna fish) بعشرين حامضا امينيا ، وبخمس واربعين (٤٥) في خميرة بيكر (Baker) . يبلغ معدل الفارق بين المخلوقات المليا والثدييات الاخرى (١٠١) فضلة. ومع احتساب استبدالات الحوامض الامينية الناشئة عن التبدل الطفري في تاريخ السيتوكروماتسي، نمكن فيتش ومرغولياش من تشيد شجرة التطور السلاطي . ورغم ان الاستبدالات في السيتوكروماتسي ربما لم تنجم عن التبدل الطفري الاكثر مسؤولية عن أي تشعب تباعدي معين، فان نشوءها يتوافق بشكل ملحوظ مع التطور التصنيفي للانواع.

تم برمجة سياقات الحوامض الامينية للبروتينات المتماثلة بالكمبيوتر
 لفرض استخراج الخصائص الثابتة (topology) لشجرة التطور السلالي، وهنا
 يبني الاحتساب على افتراض ان عدد التغيرات الاقل حصل في المتعضية الجد
 للسلالة . بعد ذلك ينظر الكمبيوتر في أمر كل حامض اميني في سلسلة
 البولي هضيتيد ، واحدا فواحد ، مع حفظ الحوامض الامينية التي بقيت
 بلا تغير باعتبارها ثابتة لا تخضع للتغيير . أما بالنسبة الى الاخرى فتشتمل
 الطريقة على صيغة رياضية (formula) لكل ضمنية ممكنة ليتسنى الاخذ في
 الحساب السياقات المحتملة لبنى السلالية . وقد ورد وصف للطريقة بكل
 تفاصيلها في الفصل الثاني من اطلس سياقات وبنى البروتينات الصادر في عام

١٩٦٩ .



الشكل ٢/١٠ - شجرة النشوء والتطور السلالي مبنية على السيتوكروم سي .
 تشير الأرقام الى التغيرات المستنتجة للحوامض الامينية لكل
 مائة وصلة أو رابط . عن: اطلس سياقات وبنى البروتينات،
 الصادر عام ١٩٧٢ .



قام موتو كيمورا وتورنوكو اوها^(٦) (Tomoko Ohta) بدرج بعض المبادئ الخاصة بالنشوء الجزيئي. فوتيرة استبدال الحوامض الامينية ثابتة تقريبا اذ لم يمس التغير بالوظيفة أو البنية الثالثة للبروتين . وعليه فإن أجزاء البروتين الاقل أهمية وظيفيا هي التي تتعرض للتغير الاسرع . وعندما تنشأ جينة ذات وظيفة جديدة يسبقها اتساخ جيني، وبهذه الطريقة تمتلك المتعضية نسخة واحدة لمراكمة التبدلات الطفرة لتظهر في الاخير كجينة جديدة بينما تحتفظ النسخة الأخرى بالوظيفة القديمة اللازمة للبقاء.

كشفت دراسة لغلوبيينات الدم globin = الجزء البروتيني من الهيموغلوبين عن حصول تشعب في الانواع توافقا مع تناسخ المواد الجينية خلال الالف مليون سنة الاخير، وبينت هذه الدراسة ايضا ان السلائل الهيموغلوبينية الالفا والبيتا والمكونة حاليا من جينات مختلفة تقع في صبغوسومات مختلفة، كانت بالاصل قد انشقت عن جينة سلالية واحدة بفعل تناسخ أو تضاعف عتيق في البنية الجينية . كما ان هيموغلوبين سمك اللامبري (lamprey)، وهو سمك بدائي، لا يزال يحتفظ بسلسلة واحدة. وكذلك الميوجلوبيين (myoglobin) وهو بروتين هيمي (heme protein) ينتسب الى السابق ويوجد في العضل، قد تنج على ما يظهر من تشعب من الهيموغلوبين بفعل تضاعف عتيق حصل في العصر ما قبل الكمبري من الالف مليون سنة الاخرة . وبهذه الطريقة ، فيما تقدمت المتعضيات الى مستويات أرقى، اتسمت موادها الجينية والبروتينات ذات الصلة بها وتزايدت في العدد والتعقيد.

تحتوي الجينة الواحدة في المعدل الف (١٠٠٠) نووتيدة ، وفي الانسان يبلغ مجموع عدد النوتيدات المكون لجنومة واحدة (genome = طقم الصبغوسومات مع جميع جيناتها) زهاء الاربعة آلاف (٤٠٠٠) مليون وهذا العدد ثابت بالتقريب في جميع الثدييات. وفي دراسة لسبعة بروتينات، وجد جاك

كنج (Jack King) و**توماس جوكس^(٧) (Thomas Jukes)** في التاريخ التطوري للثدييات ان عدد استبدالات الحوامض الامينية بلغ في المعدل اثنين الى اثنين ونصف (٢-٢.٥) بالسنة في النوع الواحد. فاذا كان معدل زمن الجيل في السلالة المؤدية الى الانسان بقدر عشر سنوات ، فانه كان قد حصل عشرون استبدالاً في كل جيل، وهو سريع فوق العادة بالنسبة الى نوع مستقر، ويسفر عن فقدان المتغيرات قبل توفر الوقت اللازم للاتقاء الطبيعي لاستمداد الفوائد الكامنة التي ربما تتواجد فيها. ولهذا السبب كانت أغلب التغيرات في البروتينات حيادية أو تقريباً حيادية في الاتقاء الطبيعي.

تتوقف وتيرة نشوء البروتينات المختلفة على عدد الحوامض الامينية اللاغيرية ليتسنى للبروتين ليكون وظيفياً . وقد اختار راسل دوليتل (Russell Doolittle) وبرغر بلومباك^(٨) (Birger Blomback) الفيرينو

ليفينو هضميتيدات: fibrinopeptides = ليفينو هضميتيدات fibrin = ليفين وهو

بروتين لا يقبل الذوبان يتكون من الفبرينوجين fibrinogen وهو بروتين في المصل الحيوي للدم — plasma — يتحول الى ليفين بفعل الانزيم ثرومين thrombin في تجلط الدم) لدراسة وتيرة (rate) النشوء الجزيئي. وعلى نقيض الهيموغلوبين والسيتوكروم سي، لا تحتاج الليفينو هضميتيدات الى حفظ أية حوامض أمينية معينة للقيام بدورها البيولوجي، وتتألف من شذف هضميتيدية طول الواحدة منها ما بين ثلاثة عشر الى واحد وعشرين (١٣-٢١) حامضاً امينياً يتم قطعها من الليفينوجين (fibrinogen) عند تحويله الى ليفين في الجلطة الدموية . وبما انه يمكن أن تتألف الليفينو هضميتيدات من أي حامض اميني يتفق فانها ملائمة للغاية لدراسة الوتيرة اللامحدودة للتبدل الطفري.

في الاساس يقتصر تطبيق الليفينو هضميتيدات على الثدييات لكن

المعلومات المأخوذة منها تشكل اسهاماً رائعاً في معرفة النشوء شبه البشري (humanoid emolution) • يملك جميع البشر وقرود الشمبانزي والغوريلا نفس الليفينوهضميتيدات بالذات، بينما توجد فوارق في ليفينوهضميتيدات ازواج قريية النسب من الانواع الاخرى كالقط-الاسد، والكلب - الثعلب، والحصار-الحصان، والجاموس المائي - الجاموس الراسي. وفي دراسة النشوء الجزيئي (molecular evolution) لسته انواع من اشباه البشر بمقارنة ليفينوهضميتيداتا اكتشف دوليتل والعاملون معه^(٩) أنه بالرغم من تطابق الغوريلا مع الانسان والشمبانزي فإنه يختلف عن القروء اللاذنية الاسيوية (Asian Apes) والسيامنغ Siamang وهو قرد من فصيلة الغبون gibbon خفيف الحركة يتواجد في الملايو). ويبدو ان هذه الشواهد الكيميائية على نسبية الانسان الى القروء اللاذيلية الافريقية (African Apes) تؤيد اطروحة ليجي (Leakey) أن أجداد سلالتنا الأوائل عاشوا في افريقيا. يميل الخبراء الأحاثيون الباليوتولوجيون الى تحديد زمن ظهور الانسان الى الوجود كنوع متميز منفصل عن الانواع العليا الأخرى في ما قبل أربعة عشر (١٤) مليون سنة خلت. إلا ان خبراء النشوء الجزيئي^(١٠) من جهة أخرى، يعتقدون ان الانسان والقروء اللاذيلية الافريقية تشعبت وظهرت الى الوجود قبل فقط اربعة الى خمسة (٤-٥) ملايين سنة لا غير^(١١). لكن، سواء ضر هذا أم نفع، فإنه لا بد من القول ان التحليلات والمقارنات الكيميائية أقل تأثراً بالرأي الشخصي من التصنيفات النظرية. وعليه فأتنا نعلم ان النسبية الجزئية بين الانسان والانواع العليا الأخرى أقرب بكثير من الاعتقاد المسائد في العموم، وبالفعل أقرب مما هي الحال بين أفراد بعض الانواع الأخرى المعترف بها. فمن خمسين بروتينا (٥٠) بروتيناً مختلفاً عزلت من الانسان والشمبانزي وجدان الفارق سياقات الحوامض الامينية يقع في أقل من واحد بالمائة (١/١٠).

يوجد شكلان من التنظيم الصبغوسومي، هما الصبغوسومة المفردة في البكتيريا والطحالب الخضزرقاوية بمثابة دنا مزدوج الوهن في انشوطه مغلقة ، وسلسلة الصبغوسومات الاشبه بالخرزة (beadlike) المتواجدة في المتعضيات الاعلى. يمكن أن تحصل التبدلات الطفرة بالخطأ بعدد من الطرق اثناء اتساخ الترتيبية الصبغوسومية ، لكن هذه الانزيمات الصبغوسومية تكون تقريبا دائما قتالة مبيته، ومن جهة أخرى يتوقف مفعول التبدل الطفرة في الجينات المفضي الى استبدال الحوامض الامينية يتوقف على البروتينات. فإذا كان الاستبدال عديم المفعول على وظيفة البروتين، فإنه حيادي، لكنه اذا أحدث تغييرا في شكل وقدرة البروتين فإنه في هذه الحالة يكون ضارا بالمتعضية ولا يعيش معه التبدل الطفرة بسبب فقدان الفرد من نطاق التكاثر.

فالنوع الواحد يشكل مجعما للتكاثر بين أفراد، وكل تبدل طفرة يعيش فيه يتسنى له الانتشار في جميع انحاء نطاق التكاثر، وتنشأ أنواع جديدة عندما تتراكم التبدلات الطفرة في جماعات معزولة تكاثريا ، وفيما تنتشر التغييرات الناجمة عن التبدل الطفرة وتسود بين الجماعة يصبح تكاثر هذه الجماعة مع مجموعات النوع السلالي غير معتاد في البداية ثم في النهاية يمتسي مستحيلا.

بينما تشكل استبدالات الحوامض الامينية اللامتغيرة في البروتينات القائمة بدلا طفرة لا يحتفظ به، تكون الوسيلة التي تحقق البروتينات الجديدة بها سياق حوامضها الامينية الامثل وظيفيا . وفي المراحل الاولى من الحياة على الارض ربما كانت البروتينات الابتدائية منخفضة المقدرة ولكنها ظلت تحسن باستمرار باستبدال الحوامض الامينية الى أن بلغت أقصى كفاءتها، وأنداك تشبثت بالسياق المسؤول عن وظيفتها تحافظ عليه بحرص شديد. انما بدون تبدل طفرة، كانت الحياة ستبقى على مستوى الخلايا البدائية الاولى التي ظهرت على الارض البدائية.



على ما يظهر بدأت الحياة على الارض ببضعة تفاعلات اساسية لتمثيل مكونات أو عناصر تكوينية (components) ، ومن هناك انطلقت تخلق ذاتها بالتكاثر . تم الحفظ على البروتينات الخاصة بهذه التفاعلات الجوهرية ، وفيما نشأت المتعضيات أخذت بتطوير التحسينات بإضافة تفاعلات جديدة الى القديمة وتهذيب مقدرة التحويلات البيوكيميائية (biochemical conversions) وبسبب هذه الطريقة التخفظية التي يتخطى بها النشوء في مسيرته فاننا جميعا نملك في باطننا آثارا من اجدادنا الاوائل، وحتى من المتعضيات العتيقة المجهرية التي كانت تطفو في البحار الاركية ، ان الحياة لا تنبذ ما قد ارتكز عليه بقاء النوع واستمراره ، بل تحتفظ بالقديم جنباً الى جنب اية تطورات جديدة . ولهذا السبب يمكن مشاهدة العديد من التفاعلات البيوكيميائية الاساسية، المتوارثة أصلاً من أجداد في غاية البعد القصي في القدم دون أن تتغير كثيراً عبر آلاف الملايين من السنين، في الرابطة البيوكيميائية للنباتات والحيوانات المعاصرة.

وأحد هذه الآثار القديمة من أصولنا المنحدرة من البيئة اللاهوائية هو المسلك الأيضي: (metabolic pathway) لعملية الفلكلة glycolysis — على غرار « حلقة "hydrolysis" » من مجمع اللغة العربية بالقاهرة — والفلكلة هي عملية تحليل السكاكر وغيرها من الكربوهيدرات بواسطة الانزيمات وتحويلها الى مركبات أبسط مثل حامض الحامضيك او اللينيك بالانتاج الوسيط لثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) أتب adenosine triphosphate لذ أحد المصادر الرئيسة للاغتذاء الآن وربما منذ البداية هو مؤايدة الكربوهيدرات . فني عملية التخمر البسيطة يجري تحليل أو تجزئة الغلوكوز الى حامض البيروفيك، يفضي الى حصيلة قدرها (١١٣) كج من الطاقة الكيميائية بالمولة (Kilojoules per mede) من السكر. وتقوم المتعضيات اللاهوائية المعاصرة

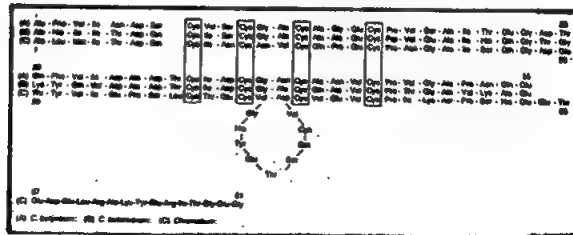
لكن تطور البنية البيوكيميائية كلها قد تشعب من بضعة تفاعلات أساسية، ونتيجة هذا هو ان التفاعلات الاصلية لم تعد يمكن تغييرها. فالكثير جداً من البيوكيمياء الكلية للمتعضيات ينبثق منها ويعتمد على منتوجاتها . فعلى سبيل المثال تدخل الخلات (acetate) في أجهزة نقل الطاقة، ولكنها ايضا مادة انطلاق جوهرية لمكونات مختلفة ومتنوعة من قبيل الكربوهيدرات والحوامض الامينية والدهون . وحتى اذا أمكن ايجاد مادة أخرى تعمل أفضل من الخلات فانه سيكون من المتعذر تبنيها بدون نتائج تدميرية كاسحة وذلك بسبب كثرة التفاعلات التي تحتاجها. فانه من شأن تغير واحد أن يتصاعد في هرم متضخم يؤدي الى تغير الكثير من تايض المتعضية.

ان الحفاظ على طرائق العمليات البيوكيميائية يفسر شدة توحيد جميع الكائنات الحية في الخطوات الجوهرية الاساسية التي تجعل الحياة ممكنة . وهذا هو السر في كيف ان التحقق من سياقات الحوامض الامينية للعديد من البروتينات واستخدام أجهزة الكومبيوتر قد اتاحت للخبراء البيوكيميائيين لتقصي وتتبع النشوء التطوري لنباتات وحيوانات اليوم على مستوى جزيئي . وبينما تقدر المتممة (complement) الجينية في الثدييات المعاصرة بمائة (١٠٠) ألف جينة، فان عدد التفاعلات الايضية المشتركة بين الشعب (phylum) - جمع (phyla) المختلفة صغير للغاية . ومن هذا يبدو ان جميع الحيوانات والانسان معها تنحدر من خلية بدائية سلالية كانت تملك فقط مائتي (٢٠٠) جينة (١٣).

تنحدر الجينة التي تسخ السيتركروميسي من تاريخ أول نشأة الخلية اليوكاريوتية ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة خلت. لكن البروتين العام الشامل الذي ربما يمتد في القدم حتى أول بداية الحياة على الارض هو الفريدوكسين ، وهو بروتين حاو للحديد حيوي في التفاعلات الضوء كيميائية

(photochemical) لنقل الالكترون الى مخزن الطاقة الخلوية • للفريدوكسين قوة اختزالية تناهز ما للهيدروجين الجزيئي، وهذه الخاصية تجعله المركب المستقر الاشد اختزالية في الخلية وتوحي الى أنه نشأ في زمن كان جوالارض فيه لا يزال شديد الاختزال •

جميع أدوار الفريدوكسين المختلفة في الخلية اساسية جوهرية ، فهو يساعد في تكوين الأت ب ATP بالاشعاع^(١٣) ويشارك في اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى البيروفات (pyruvate) ، ويستخدم في تثبيت النيتروجين^(١٤) . وعلى ما يظهر ان الفريدوكسين أكثر عتاقه من ثنائي نووتيد ادينين النيكوتيناميد (ناد: nicotinamide adenine dinucleotide: NAD) الذي عامل اختزال متواجد في جميع الخلايا • ويشارك الفريدوكسين مباشرة بمثابة مختزل لثاني اوكسيد الكربون مع الانزيم المساعدة الاستيلية أ (Acetyl) بدلا من بواسطة (ناد NAD) في الميكروبة البدائية (acetyl coenzyme) كلوستريديوم باستوريانوم (clostridium pasteurianum) والبكتيرة الضوء تمثيلية كروماتيوم ثيوسلفاتوفيليوم (chromatium thiosulfatophilum) •



الشكل ١٠/٥ - مقارنة بين سياق الفريدوكسينات في ميكروبة كلوستريديوم وبكتيرة كروماتيوم •

ان الفريدوكسين بروتين من الحديد - الكبريت يتضمن فقط خمسة وخمسين (٥٥) حامضا امينيا ويتألف من نسبة عالية فوق العادة من الحوامض الامينية الاصفر والمستقرة ديناموحراريا هي: الغلايسين والالانين وحامض الاسبرتيك والسيستين (glycine, alanine, aspartic acid, cysteine) • ومن دراسة لسياق الحوامض الامينية في الفريدوكسين استدل ريتشارد ايك (Richard Eck) ومرغريت دايهوف^(١٦) (Margaret Dayhoff) ان البروتين يملك سياقاً سلالياً من (٢٩) وحدة وان الجزئية الاصلية على سياق متكرر من الالانين والسيرين (serine) وحامض الاسبرتيك والغلايسين • يبدو ان الآلية (mechanism) الجينية الاصلية كانت سياقاً من اثنتي عشرة (١٢) نووتيدة تضاعفت ثم تضاعفت مرة ثانية وعملت سلسلة طويلة تكرارية • وفي وقت لاحق فيما اصبحت المدونة الجينية اكثر تعقيداً ، اضيفت اليها حوامض امينية أخرى بما فيها السيستين والتصق الرابط الكبريتيدي في السيستين بالحديد • وأخيراً اضيفت اربع سيستينات بالتبديل الطفرة وتضامت سلسلتان متماثلتان في طبق الاصل (identical) لتسفر عن شبيكة معقدة من البروتين - الحديد - الكبريت ذات قدرة مضافة عالية.

يقع الفريدوكسين في المتعضيات اللاهوائية البدائية الضوء تمثيلية واللاضوء تمثيلية ، وهو أساسي في كيمياء الخلايا ، وتوحي بساطة الفريدوكسين وتطوره النشوي الى انه لربما كان واحداً من أقدم البروتينات الاولى التي كوتها الحياة على الارض^(١٧).

تمتد الحياة باستمرار من لحظة ظهور اول خلية حية على وجه الارض، وتنحدر عبر الدهور والمصور بلا انقطاع، الى جميع سلالاتها الحية • وقد تناقلت المعلومات الجينية المدونة في خيوط نووتيدات الدنا بتواصل مطرد من جيل الى جيل في تطور بطيء ، على الدوام منجزة مزيداً من القدرة ومكتسبة

جينات جديدة ، متوجهة دائما وأبدا نحو اشكل أفضل وارقى من النبات والحيوان.

جميع سلالات الحياة المتواجدة اليوم لها نفس العمر جينيا أو تكوينيا، ولكنها لم ترق جميعها على سلم التطور الى نفس المرتفعات . فهناك «الاحافير الحية» وهي نباتات وحيوانات لا تزال متواجدة بدون تحقيق أي تغيير يذكر من اسلافها الاحفورية . ونجد الكوسج اليوم قد بقي جوهريا بنفس حالته دون تغيير طوال السبعين مليون سنة الماضية ، والسرطان الحدوي يتواجد اليوم تقريبا بنفس حالته بدون تغيير منذ أكثر من مائة وثمانين مليون سنة. ولم تحقق الصراير والمقارب والالفيات الارجل والنوتي أو النوتيلاس (nautilus) أي تقدم خلال عديد من مئات الملايين من السنين. كانت شجرة الجنك (ginkgo) مزدهرة في الصين في عصور الدينوسور ، ألا انه في عام ١٩٥٨ اصطاد بعض صائدي السمك على مقربة من سواحل جنوب غرب أفريقيا سمكة غريبة في شباكهم لم يسبق لهم أن رأوا مثلها قط. وكانوا على صواب في ظنهم . فقد كانت السمكة من فصيلة سيلاكاث اللاحشوية (coelacanth) التي درجها الخبراء الباليونتولوجيون بين الاصناف التي انقرضت قبل مائة وخمسين مليون سنة.

تمتد الاحافير الحية الى حتى أعتق اشكال الحياة قبل خمسة عشر (١٥) عاما قام سانفورد سيفل (Sanford Siegel) وهو خبير نباتي من جامعة هاواي، بزيارة عابرة الى قلعة هارليك بمقاطعة ويلز ببريطانيا حيث لاحظ ان السياح هناك يمارسون عادة قد قررها الزمن منحدره من أيام العصور الوسطى. كان هؤلاء يحرسون على تقليد طريقة فرسان تلك الايام أو على الاقل طريقة الجنود القائمين بالحراسة ، أي انهم كانوا يتحشدون حول جدران القلعة ويتبولون عليها. كان سيفل يعمل منذ عدة سنوات بدعم من ادارة الوطنية

للفضاء وعلوم الاجواء الامريكية (NASA) في تحرير المتعضيات المجهرية المتواجدة في البيئات القاسية والتي يمكن ملاقاتها في الترحال الفضائي . وبما ان الامونيا مكون رئيسي لجو المشتري (Jupiter) ، وربما كانت منتشرة في الارض البدائية ، فقد جاءت تلك المنطقة ضمن البيئات التي شملتها دراسته ، وذلك لأن التربة المشبعة بالبول تشكل حالة طبيعية عالية المحتوى من الامونيا .

عاد سيفل الى بلاده يحمل عينات من التربة جمعها من الارض المحيطة بالقلعة ، وحاول زرعها (culture) في هيدروكسيد الامونيوم المركز (ammonium hydroxide) . كانت أغلب المتعضيات لمتوت أو تعوق الى حد كبير في ذلك الوسط ، ألا أن سيفل لاحظ واحدة تنمو في عناقيد مجهرية من اشكال نجمية ملتصقة بسيقان رقيقة . لم تنطبق عليها اوصاف اية متعضية حية معروفة ، رغم انها تشابهت كثيرا بأحفورة مجهرية لما قبل الكمبري كان بارغورن قد اكتشفها في طبقات حجر الصوان الوري البالغة من العمر النفي (٢٠٠٠) مليون سنة الكائنة في كاكايكا بمقاطعة اوتاريو بكندا ، وأطلق عليها اسم كاكايكا امبريلاتا (١٨) (Kakabekia Umbrilata) .

ظن سيفل انه قد وجد احفورة مجهرية حية تعيش على الامونيا . ورغم انه كان قد جمع عيناته الاولى من قلعة هارليك فقد بينت الدراسات التي قام بها هو وزوجته برباره (١٩) ان حاجة المتعضية الى الامونيا لم تكن مطلقة . كما قد تم العثور على المتعضية في اترية الاسكا وايسلندة ومناطق مختلفة من جبال الالب حيث البيئة عالية بالقلوية منخفضة بالامونيا . لا تحتاج هذه المتعضية الى الاوكسجين ، لكن على تقيض أغلب البكتيريا اللاهوائية ، لا تموت بمفعوله . وأطلق على اكتشاف سيفل الذي ربما هو نسيب حي لأحفورة بارغورن من اواسط الدهر البروتيروزوي اسم كاكايكا بارغورنيانا



• (Kakabekia barghoorniana)

رغم ان السيانو بكتيريا واسعة الانتشار فربما انها قد بقيت جوهريا بنفس حالها منذ ما لا يقل عن الف (١٠٠٠) مليون سنة خلت. كما ان الميكروبات اللاهوائية التي سادت طوال الالفى (٢٠٠٠) مليون سنة الاولى من ظهور الحياة وقبل تواجد الاوكسجين الطليق في الجو بأية مقادير ملموسة قد تمكنت من البقاء معنا في نقر مستورة وتمثلها اليوم بكتيريا الكلوستريديا (clostridia) التي تعيش لتعديننا بالكزاز (tetanus) والتسمم الرصاصي (botulism) وغنغرين الغاز gas gangrene : تعفن الجرح بالفاز). وتعتبر الكلوستريديا ، التي تنقصها حتى السيتوكروم سي، واحدة من اشكال الحياة الاكثر بدائية على الاطلاق . حتى البكتيريا الضوء تمثيلية ، وهي الميكروبات البدائية التي تملك القدرة على تمثيل المادة العضوية من ثاني اوكسيد الكربون في بيئة لا هوائية باستخدام كبريتيد الهيدروجين كمصدرها للهيدروجين وتحتاج فقط الى حامض الخليك والضوء وبعض الفلترات، قد واصلت البقاء حتى اليوم كواحدة من أقدم أشكال الحياة على الارض.





الشكل ٧/١٠ - بكتيرة كاكابكيا بارغونيا من ويلز .

Figure 10.6. The gatehouse at Harlech Castle.
Figure 10.7. Kakabekia barehoorniana from Wales

ولكن رغم ان الأحافير الحية تبدو منجمدة في الزمن بينما تواصل النباتات والحيوانات الأخرى تطورها الدينامي، فان الأمر ليس كذلك في الحقيقة. اذ حتى جينات هذه البقايا العتيقة من الماضي السحيق قد مرت بالتبدلات الطفرية بنفس وتيرة جميع السلالات الحية الأخرى. انما لكي تحافظ على شكلية لا متغيرة يبدو أنها قد تعرضت لفعل متواصل من الانتقاء الطبيعي طوال المئات وحتى الآلاف من ملايين السنين فيما تدفق من خلالها سيل متواصل من التغيرات الجينية المحايدة تقريبا مستحالة (transform) جزئياتها المعلوماتية الى حد كبير.

جميع المتعضيات الحية تحمل ضمن بنيتها البيوكيميائية آثار الأحداث التي أفضت الى تقدم الحياة طوال الثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة الماضية. وعلى نقيض السجلات او الآثار الأحفورية التي تركت العديد من الفروع قد أصبحت دربا أو طريقا مسدودا ، ان البقايا الكيميائية الاثرية في جميع الكائنات الحية منحدره من أجداد سلالية مباشرة . فاستخدام طريقة النسوء الجزيئي أسلوب ثمين للغاية ، وبواسطته يتمكن العلماء عقلا من حلم قديم طالما رنت اليه نفوسهم ، ألا وهو اكتشاف مسيرة نشأة الانواع حتى أول بداية الحياة بذاتها.



الفصل الحادي عشر - نوعان من الحياة

يوجد فرق هائل بين البروكاريوت واليوكاريوت من حيث التنظيم البنيوي والمطاوعة البنيوية . فمن جهة نجد أن البروكاريوت تضم عمليات تآيضية في غاية التنوع انما مع ذلك في الجوهر مجرد رزم من الكيمائيات تقوم ذات قطر بكتيري عشرة اضعافه في البروكاريوت وبجسم اكبر بألف (١٠٠٠) ضعف، وهي مبنية من وحدات خلوية فرعية مغلقة في أغشية دهنية تقوم بعمليات بيوكيميائية نوعية مستقلة نسبيا عن بقية الخلية . وفيما تتكاثر البكتيريا بمجرد استساخ الدنا المفرد الانشوطية فيها الذي يعوم في السيتوبلازما ، وتنفصل بالانشطار فيحمل كل نصف منها انزيمات سيتوبلازمية لمواصلة أنشطته الخلوية ، فان اليوكاريوت تملك مادة جينية أكبر بألف (١٠٠٠) مرة موجودة في نواة مغلقة منفصلة عن السيتوبلازما وتتكاثر بواسطة آلية الانقسام الفيلي الدقيقة المعقدة .

بالنظر الى الطبيعة الاكثر بساطة للخلية البروكاريوتية فانه من المعقول الافتراض أن اليوكاريوت قد نشأت عن البروكاريوت، ألا ان النشوء لم يترك لنا أية آثار نهتدى بها في تتبع مراحلها . كما توجد فجوة انتقالية بين هذا الصنف من الخلية وذلك، فهما مجردان أشبه بنوعين مختلفين من الحياة .

ولا يتجاوز هذه الفجوة في الاستمرارية بين اليوكاريوت والبروكاريوت الا الهوة التي تم ربطها وتوصيلها لغرض ابراز المتعضيات الحية الاولى الى الوجود . كانت هذه قفزة بيولوجية تعادل أو تفوق الطفرة الانتقالية من المتعضيات اليوكاريوتية الاحادية الخلية الى الحيوانات المتعددة الخلايا



والانسان، ووقعت في حين ما في الماضي السحيق، قبل تواجد النبات والحيوان
بزمن طويل، أثناء ما كانت الارض تغير خواصها وتتخذ ملامحها المألوفة لدينا
اليوم. فما الذي حدث في ذلك الزمن السابق الشاسع، قبل الحقب الكمبرية
بروح طويل، في عالم الميكروب، وافضى الى اختلاق شكل جديد من الحياة،
الى الخلية اليوكاريتية؟

حين مدد المجهر الالكتروني بصر العلماء البيولوجيين من تكبيرة بقدر
الف (١٠٠٠) مرة الى أخرى قدرها مائة (١٠٠) الف، وضع في البؤرة التفتيدات
المتواشجة الكائنة في البنية الميكروية . فتكبيره قدرها عشرة (١٠) آلاف مرة
يمكن رؤية البكتيريا الكرية ستافيلوكوكاس (staphylococcus) تتحرك بمعونة
سويط مروحي (propellerlike flagellum) وتكبيره قدرها ستة وعشرون (٢٦)
الف ضعف تبدو قصية السل الدجاجي (bacillus of chicken tuberculosis)
كدودة كاملة النمو بدلا من ليفية دقيقة . أما بتكبيره قدرها مائة (١٠٠) الف
مرة فانه يمكن بالكاد تمييز الجزيئات الصلابة للخلايا لمجرد هباءات مغموشة
لا شكلية (amorphous) . فقد نقل المجهر الالكتروني ابصارنا عبر مراحل
اصفر مستويات الحياة الى عتبة عالم الجزيئات الكيميائية.

تؤلف الخلية البكتيرية شكل الحياة الذي يوصل العالم البيولوجي
بالرياسة التي تلوح بارزة من الصفر اللامحسوس للذرات ومخلوقاتهما.
فالبكتيريا العادية، وهي اصناف كروية تسمى بالكوكاس (coccus)
ألف غبية، يبلغ طول قطرها حوالي اثنين (٢) ميكرومتر رغم ان القصبيات
المودية الشكل (bacilli) يبلغ طول قطرها حتى عشرة (١٠) ميكرومتر . أما
النوع الاصفر فهو الميكوبلازما mycoplasma = جنس من المتعضيات
المجهريه اصفر من البكتيريا وأكبر من الفيروس) التي يبلغ طول قطرها (٠.١٣٥)
من الميكرومتر، لكن هذا الطول بدوره أكبر من قطر ذرة الهيدروجين بألف

وثلاثمائة وخمسين (١٣٥٠) مرة .

على ما يظهر ان البكتيريا هي أصغر المنظومات البيولوجية التي يمكن أن تعمل كوحدات مستقلة بذاتها ، ودرجة صغرها صعبة التصور للغاية ، وتوجد على جسم الانسان وفي باطنه أعداد من البكتيريا تفوق مجموع أعداد البشر على سطح الارض، ويمكن أن تتضمن ملعقة شاي من التربة آلاف الملايين منها بالحرف، وأربعون الفا منها جنبا الى جنب تمتد فقط بطول بوصة واحدة . لكن صغر البكتيريا، من جهة أخرى، يخفي فعاليتها، ذلك لأنها بالغة التعقيد للغاية في الدور الذي تلعبه في النطاق الحيوي من جو الارض = biosphere جو سطح الارض الذي تتواجد فيه الاحياء) .

ويرجع نجاح البكتيريا الى عملياتها التآيضية المتنوعة للغاية . جميع المتعضيات الحية تملك انماطا تآيضية أساسية معينة مشتركة ، لكن البكتيريا لا تضاهي في تنوع بيوكيميائها، وبوسع الانواع البكتيرية أن تستمد الطاقة بأكسدة مواد متضاربة مثل الامونيا والكبريت والحديد والنترات (nitrites) بينما بوسع بعض البكتيريا تمثيل جميع متطلباتها الخلوية مثل جملة البروتينات بأكملها والكربوهيدرات والدهون والحوامض النووية، وذلك من املاح لاعضوية بسيطة والامونيا وثاني أكسيد الكربون والماء .

لقد اتاحت هذه التطاوعية للبكتيريا أن تمتد وتنتشر في بيئات تعجز اشكال الحياة الأخرى عن بلوغها الى حد كبير . فقد وجدت البكتيريا تنمو في درجات حرارة تبلغ (٩٢-١٠٠°) ماثوية في مياه الينابيع المغتلية في نيوزيلندة وايسلندة ، وفي المياه القطبية في درجات حرارة منخفضة حتى (١٢°) ماثوية تحت الصفر . كما تعيش البكتيريا والطحالب في بحيرة الملح الكبرى وفي البحر الميت حيث تبلغ نسبة محتوى الملح (٢٩٪)، وتعيش ايضا في المستنقعات السبخة وفي الينابيع والبحيرات المتألفة من حوامض شديدة .



تتحرر البكتيريا في نطاق صفر حجمها بفعل الضغوط الانتقائية المنبثقة من مستوى حياتها. جميع المتعضيات تتناول الغذاء لغرض النمو وتقوم بفرز الفضلات الايضية ، وفي المستوى الميكروبي يتحتم أن تمر هذه المواد من خلال الغشاء الخلوي، ولما كانت العمليات الحياتية منحصرة في حجم محدود، فإن وتيرة هذه التفاعلات تتوقف على مدى سرعة قدرة الخلية على امتصاص هذه المواد والتخلص من تلفها. بما ان نسبة السطح الى الحجم تزايد كلما انتقص الحجم فإن للصغر فوائد واضحة متميزة . تبلغ نسبة السطح الى الحجم لدى حوالي العشرين (٢٠)، بينما تتصاعد في البكتيريا الى تسعة (٩) ملايين، وهذا هو سر حيازة البكتيريا والخمائر والميكروبات على وتيرة تايض هائلة . فبوسع خلية البكتيرة آي كولي (E. coli) عند وضعها في قمع خياطة من المرق الغذائي أن تتضاعف الف مرة في غضون ثلاث ساعات ، ويمكنها أن تطلق آلاف الملايين من الذرية خلال يوم واحد ، واذا أمكن ادامة الوتيرة فبوسعها أن تغطي الارض بأكملها في ظرف ثلاثين (٣٠) يوما .

أما في النهاية السفلى من مدى مقاسها فتتحرر البكتيريا في حجم يكفي ليشتمل على العدد اللازم من الجزيئات لتكون معه خلية وظيفية . ومع تزايد حجمها يصبح اتساعها أو تكاثرها معوقا بانتقاص وتيرة التايض، انما يعود هذا على الأخص الى محدودات موردها من الطاقة . والبكتيريا عوامل تخميرية، باستثناء بضعة اصناف . فهي تقوم بتحليل أو تجزئة المواد لغرض استمداد الطاقة الكيميائية منها . غير أن التخمير مصدر منخفض المورد للطاقة ، والمتعضيات التي تعتمد عليه كوسيلة الوحيدة لتوفير الوقود لعملياتها التفاعلية تبقى محكوما عليها الى الابد في مستوى منخفض من الوجود .

ومثلما للصغر منافع فإنه للكبر منافع أعظم اذا ما تمكنت المتعضيات من توفير التركيز اللازم من الطاقة لتغذية الحجم الاكبر والتعقيد التنظيمي المزداد،

وعندما تواتت الظروف لتواجد شكل حياتي خلوي أكبر نشأ هذا ليتبوأ مكانه في العالم الحي. طوال النفي (٢٠٠٠) مليون سنة متواصلة كانت البروكاريوت شكل الحياة الوحيد في الوجود ، انما في اثناء تلك الفترة الطويلة عملت البروكاريوت على خلق الاحوال الملائمة لتتمكن الحياة من الارتقاء الى حجم أكبر وتنظيم أكثر تعقيدا . لقد خلقت، بتنوعها المتضارب، تنوعة واسعة من المسالك الانزيمية فيما بينها ، وبنفس الاثناء أطلقت الطحالب الخضزرقاوية في البيئة ما يكفي من الاوكسجين لاتاحة اكسدة الغلوكوز كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء بواسطة عملية التنفس . أقر البيولوجيون في القرن الماضي بتواجد صنفين خلويين من الحياة ، لكن العلاقة النشئية بينهما بقيت مجهولة ، وكذلك بقيت مسألة كيفية تحقيق المرحلة الاكبر والأكثر تعقيدا من الحياة من خلال النشوء التطوري أمرا تحديسيا صرفا حتى الآونة الاخيرة.

لقد تمكن الميكروبيولوجيون في القرن التاسع عشر من رؤية اختلاف الخلايا اليوكاريوتية بحجمها وأورغانيلاتها المغلفة بالاغشية عن الخلايا البكتيرية الاصغر منها. ولكنهم تعذر عليهم رؤية التفاصيل البنيوية الدقيقة التي كشف عنها المجهر الالكتروني فيما بعد. مع ذلك، فقد كان بوسعهم أن يدرسوا المكونات الخلوية الفرعية (subcellular) المخضبة والمصبوغة ، وقبل مائة عام كان أي أف دبليو شيمبر (A.F.W. Schimper) أحد الخبراء النباتيين الذين اكتشفوا ان الجبيلة اليخضورية (chloroplast) لا يجري تمثيلها جديدة وانما يتم انتاجها بالانقسام^(١). يبدو ان شيمبر كان أول من لاحظ أوجه الشبه بينها وبين الطحالب الخضزرقاوية الطليقة العيش . والميتوكوندريا، كالجبيلات اليخضورية ، ايضا تتكاثر بالانقسام . فقام بروفيسور التشریح بجامعة لايبزيغ ريتشارد ألتمان^(٢) (Richard Altmann) في عام ١٨٩٠ بطرح

فرضيته بأن هاتين الجسيمتين شبيهتان بالبكتيريا ، وانهما في الواقع تعايشيتان (symbiont) • ان الاختلاف بين صنفى الخليتين كبير لدرجة ان البروكاريوت تكاد لا تتجاوز في الكبر حجم الوحدات الخلوية الفرعية لليوكاريوت. غير ان فكرة كون الميتوكوندريا والجيلات اليخضورية خلايا بكتيرية الواحدة باطن الأخرى جوبت بنقد واسع آنذاك وأهملت في النهاية.

بعد ذلك بعشرين عاما قام ميرشوفسكي^(٣) (K.C. Mereschowsky) في روسيا بتطوير فكرة الاصل التعايشي للأورغانيلات لكن أفكاره بقيت في معظمها مجهولة للعلماء خارج روسيا بسبب حاجز اللغة، ثم في العشرينيات من هذا القرن نهض البيولوجي الأمريكي ايفان والين^(٤) (Ivan Wallin) من مدرسة الطب بجامعة كولرادو بقوة عن الفكرة بأن الجسيمات الصغيرة الكائنة في باطن الخلايا اليوكاريوتية كانت تعايشية ومن أصل بكتيري. رغم ذلك، لم تجتذب هذه الفكرة اهتماما يذكر حتى عام ١٩٦٢ عندما اعلن هانز ريس (Hans Ris) والتر بلاوت^(٥) (Walter Plaut) من جامعة ويسكونسن عن اكتشافهما للدنأ في الجيلات اليخضورية • ثم بعد عامين من ذلك تم اكتشاف الدنأ في الميتوكوندريا المأخوذة من النباتات والحيوانات^(٦) • وعلى حين غرة تم اقرار خاصية جديدة وبالغة الاهمية للخلايا اليوكاريوتية. فعلى نقيض البروكاريوت التي تحتوي على جزيئة واحدة فقط من الدنأ، وجد ان اليوكاريوت في الواقع تتضمن مراكز جينية عديدة ، أي انها بولي جينومية (polygenomic) •

لم يكن الدنأ موجودا فقط في الجيلات اليخضورية والميتوكوندريا ولكنه كان ايضا مغلفا في انشودة مغلقة مثل الدنأ في البكتيريا • اوحى هذا بقوة الى ان هذه الجسيمات دون الخلوية (subcellular) كانت تمتلك خواص التناسخ الذاتي اضافة الى قدراتها على تمثيل البروتين. وفيما تبقى البروكاريوت



كوحداث فردية ممثلة للبروتين ، وجد ان اليوكاريوت تتألف من عدد من الوحدات المنفصلة تقوم بتمثيل بروتيناتها الخاصة بها. وعند المزيد من التمحيص وجد ان الطحالب الخضزررقاوية ، والميتوكوندريا ، والجبيلات اليخضورية جميعها تملك بنى رهيبة مماثلة ومستقلة عن الغشاء الباطني للخلية، وجميعها لها دنا وأنزيمات، وصبغات شبه جزيرية (carotenoid) ، وسيتوكرومات ، وغيرها من المكونات المشتركة للقيام بأنشطتها ، وجميعها تنقسم وتملك خاصية التبدل الطفري والتطور.

دللت الشواهد بقوة على ان اليوكاريوت لم تنشأ من البروكاريوت بطريقة الاتساع البسيط في التعقيد من خلال التمدد والتبدل الطفري في موادها الجينية ، انما بالارجح حصل شيء ما، أما فجأة أو أثناء فترة انتقالية طويلة ، جمع بين عناصر متنوعة من العالم البروكاريوتي في اتحاد دائم ومتنام لدرجة انه خلق شكلا جديدا من الحياة.

كان العالم الحي في الاحقاب الاولى والوسيطه من الدهر البروتيروزوي مبتنيا على أسس العمليات الانتقائية مثلما هو اليوم . وكانت المتعضيات البروكاريوتية تشخذ قدرتها من خلال التبدل الطفري ، وتطور أنواعا مختلفة شتى لتتسع الى أقاصي محدداتها البدنية ، وتعزز مكاسبها بواسطة التخصص . ولم يقتصر هذا الاتساع على المحيط الهامشي للبيئة الملموسة ، انما كشأن جميع مراحل النطاق الحيوي أو اليوسفير (biosphere) ، كان العالم البروكاريوتي مزدحما بالتبعيات الشكلية المورفولوجية والغذائية . كانت الاوتوتروف الضوئية والكيميائية (photo-and chemoautotroph) لوحدها هي التي تستطيع فقط استدرار متطلباتها العضوية من المواد اللاعضوية الصرف دون غيرها ، بينما اعتمدت جميع الاحياء الأخرى في تحصيل قوتها اما على التطفل والافتراس أو على الفضلات الايضية من الأخرى، وانتشر



التطفل والافتراس والتعايش التبعي على نطاق واسع في جميع انحاء النطاق الحيوي.

ان التعايش أو التعايش التبعي هو اشتراك متعضيتين اثنتين أو أكثر في علاقة نوعية للغاية مبنية على الاعتماد أو التبعية المتبادلة ، ويمكن أن يتكون الترابط من مجرد علاقة طارئة الى اتحاد التزامي حميم . تحصل العلاقة عادة في الطبيعة في ظروف قاسية فوق العادة تتجاوز نطاق تحمل خزين المتعضية الواحدة من الانزيمات . ومن الامثلة الشائعة على هذا هو الحزاز (lichen) الذي يعيش في أماكن قاحلة مجدبة فوق طاقة الطحالب (algae) ، وشحيحة بالاعذية العضوية فوق طاقة الفطريات (fugi) . وبالنسبة يضطر الحزاز القشري الناشف الى الاغذاء كمؤلف شبه نباتي (plantlike composite) حيث تحتبك الملايين من خلايا الطحالب الخضزررقاوية في طبقة قاعدية تتكون من شعيرات احدى الفطريات تتبدل فيها الاغذية بالتبادل بين المتعايشتين .

تشأ العلاقات التعايشية بين متعضيات من جميع الاحجام وجميع الاصناف والانواع . تعيش البكتيريا في المسالك المعوية للحيوانات، وتستوطن الفطريات بالتعايش مع الطحالب، وتقريبا كل سمكة من نوع قنديل البحر (starfish) وقنفذ البحر (sea urchin) تملك متعايشة ميكروبية واحدة او اكثر . وبين النباتات والبكتيريا يتم تثبيت النيتروجين في جذور البقوليات الكعبرية ، وهي عملية يعجز أي من المتشاركين القيام بها بمفرده . كما ان التعايش (sybiosis) بين البكتيريا أمر عادي شائع، ولاسيما في البيئات اللاهوائية . في غياب الاوكسجين يكون تجرد (degradation) المواد العضوية بطيئا ، وفي الغلب تستلزم جملة تحلل المواد العضوية الى منتوجات غازية جهود اكثر من نوع بكتيري واحد لانجاز التجريد الانزيمي التام .



فاذا كانت النظرية التعايشية تفسر الفجوة او حلقة الصلة الاستمرارية المفقودة بين النوعين من الحياة ، فلا بد أن الاثبات عليها يكمن في الشواهد الكيميائية والبيولوجية التي تربط هذه الاجزاء من الخلية اليوكاريتية المعتقد بأنها تعايشية الاصل وتوصلها بوجودها السابق كمتعضيات طليقة العيش . فلا بد أن الاورغانيلات التي كانت تعايشية كانت في زمن سابق لذلك متعضيات طليقة العيش وكانت لتملك كحد ادنى جزيئة الدنا ورنأ رسول وجهاز لتمثيل البروتين بما في ذلك الرنأ الناقلة مع انزيماتا وريبوسوماتها وما تتضمنه هذه من البروتينات والحوامض النووية ، ومصدر ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) ، وجهاز لتمثيل اغشية الخلية . ولا بد انه حصل انتقاء للتخلص من الفوائض او الزوائد عند دخول متعايشة في خلية مضيفة . وعليه لربما أن المتعايشة في باطن الخلية فقدت، أو لم تفقد، كل آلياتها للوجود المستقل بأحالة وظائف التأيض الاساسية الحيوية الى عاتق المضيضة . لذلك ينبغي أن يكشف النقص على المواد الجينية في الاورغانيلات المعاصرة عن أدلة تبين الخواص المسبغة على المضيضة وترجع بنا الى الطبيعة الخاصة بالتعايشة العتيقة .

فضلا عن ذلك، بالنظر الى السلوك التحفظي للنشوء البيولوجي، فربما لا يزال يوجد في الطبيعة امثلة من النظائر الطليقة العيش الطبيعية الحصول للسلاسل المزامنة (codescendants) لتلك المتعايشات تحمل نفس الصفات الجينية والفيولوجية ، التي قد تمكنت من البقاء حية في عالم متغير . وتأتي الجيللة اليخضورية للطحالب الخضراء والنباتات كالمرشح الابرز والاكثر احتمالا للاورغانيلة المنحدرة من اصل تعايشي، لأنها تبدو كالبروكاريوت الضوئية التمثيل . وهناك امثلة كثيرة للمتعضيات اللاضوء تمثيله التي تقوم باستغلال الجيللات اليخضورية في أشياء أخرى . فبعض المتعضيات تستمد الجيللات اليخضورية من الطحالب لاتمام انتاجها من الطاقة ثم بعد ذلك تبذرها أو تهضمها عندما تنتفي حاجتها منها . كما ان البطليينوسة او البزرحونة العملاقة



(giant clam) تغذى جزئيا من الطحالب الضوء تمثيلية العائشة بين خلايا غطائها، وتقتني بعض البزاقات البحرية (sea slugs) الجييلات اليخضورية بالاقنيات على الطحالب التي تعيش بعد ذلك مستقلة في باطن البزاقة وتقوم بعملية التركيب الضوئي لنفسها ولمضيفها ايضا^(٧). ومن بين الميكروبات نجد العيسينية السوطية (euglena) الضوء تمثيلية المألوفة التي تضم جييلات يخضورية لها قيمتها اثناء الاضاءة ولكنها ليست جوهرية للحياة . وعند زرع المتعضية في سائل من البنسلين تتوقف عن انتاج الجييلات اليخضورية وتغدو غير متميزة الضيفات الاولى العاجزة عن الانتصاب او الوقوف (protoan Astasia) العادية .

ربما كانت الطحالب الخضراء أول اليوكاريوت التي نشأت مع هذه الاورغانيلة قبل حوالي الف (١٠٠٠) مليون سنة خلت عندما اقتتت سلالات اليوكاريوت السلالية الجد متعايشة ضوء تمثيلية . ثم نشأت الطحالب الحديثة والنباتات الأعلى الأخرى منها، بينما افضت سلالة أخرى من اليوكاريوت الاولى الى الأحياء الاولى (protozoa) والفطريات والحيوانات الاعلى .

تبدي الجييلات اليخضورية فردية ذاتية ملحة على الدوام ، ربما لأنها لم تكن قد اقتنيت كمتعايشات الا مؤخرا نسبيا ، فهي تملك خاصتها من الدنا والرنا الرسول وجهاز لتشيل البروتين وريبوسومات حساسة للمضادات للحوية التي تؤثر على البكتيريا . تتضمن جييلات الحرشفيات الاحادية البرعمة من الطحالب الخضراء (chlamydomonas) تدوينة (coding) لعدة مئات من البروتينات ، وذلك على نقيض الميتوكوندريا التي لا تتضمن أكثر من حوالي جزء من عشرة من تلك السعة^(٩). مع ذلك، فقد قامت الجييلات اليخضورية بتحويل بعض من معلوماتها الجينية الى صبغوسومات المضيفة

L

منذ دخولها في العلاقة معها، وذلك لأنها الآن تحتاج الى مشاركة الجينات النووية والجيل يخضورية للتكاثر.

اذا كانت الجيلات الخضورية مقتاة بالتعايش فانها ينبغي أن تكون لا تزال تحمل آثارا من اسلافها البروكاريوتية . قام فورد دوليتل^(١٠) (Ford Doolittle) من جامعة دالهاوس بهاليفاكس في نوفا سكوشيا بمقارنته أوجه الشبه في الرنا الريبوسومية من الاورغانيلة الضوء تمثيلية للطحلبة الحمراء بورفيريديوم (porphyridium) أو فرفيريديوم مع تلك الموجودة في سيتوبلازمتها ذاتها ومع نفس الرنا من الطحالب الخضزرقاوية والجيلات الخضورية للغييسينية ، ووجد ان الاورغانيلة كانت أقرب اتسابا الى المتعضيات الأخرى مما كانت للطحلبة الحمراء ذاتها التي كانت هي جزء منها. ان الطحالب الخضزرقاوية والكلوروكسي بكتيريا (chloroxybacteria) نظائر طليقة العيش للجيلات الخضورية وربما ان الجد السلالي للأورغانيلة كان يشبه هذه المتعضيات الضوء تمثيلية .

ان الميتوكوندريا هي الاورغانيلات التي تبدو اكثر عتاقة من الجيلات الخضورية ، وذلك لأنه لا توجد طحالب او نباتات بدونها . فإذا كانت الميتوكوندريا منحدره من تعايشه فلا بد ان جدها السلالي كان ميكروبية لا ضوء تمثيلية تعتمد كليا على الاوكسجين للتأيض . كانت البكتيريا الأخرى تقوم بعملية التخمر (fermentation) لكن سواقي الميتوكوندريا كانت قد نشأت كهوائية تقتات على الفضلات التلف الناتجة عن عمليات تجزئة الكربوهيدرات من قبل متعضيات أخرى . وربما انها بالاصل كانت قد وجدت هذه المواد في البيئة ، انما في الاخير دخلت في علاقة تعايشية مع خلية مضيفة لتقتات على باطنها الفني بالغذاء . وفيما عاشت الهوائية الصغيرة في الزراعة agriculture

الغنية بغير المضيفة وتمتعت بحمايتها أخذت من جانبها تمد مضيفتها بالمنتجات الطاقوية الزائدة من تأيضا، الى أن في الأخير أدى الانتقاء الطبيعي النابذ للفوائض والزوائد بين المضيفة والهوائية الى الاعتماد المتبادل، واصبحت الميتوكوندريا عاجزة عن العيش مستقلة خارج الخلايا اليوكاريوتية، كما تعذر على الخلايا ايضا البقاء في الحياة عند حرمانها من ميتوكوندرياتها.

لقد احتفظت الميتوكوندريا بخاصتها من الدنا والرنا الرسول والرنا الناقل والريبوسومات . ويملك الدنا وزنا جزيئيا بقدر عشرة الى مائة (١٠-١٠٠) مليون وحدة كتلية ذرية (atomic mass units)، لكن هذا لا يكفي للتدوين لجميع البروتينات في الميتوكوندريا^(١١). لذلك، تخلت الميتوكوندريا عن سيطرتها الجينية للجنومة النووية وبذلك أصبحت متعايشة مرغمة تعتمد على المنتجات التي تقوم الخلية المضيفة بتشيدها.

أما اذا كانت الميتوكوندريا من اصل بكتيري فينبغي هي ايضا أن تشبه البكتيريا الطليقة العيش الموجودة بين الميكروبات في يومنا هذا . وربما أن المتعضية المعاصرة باراكوكاس دنيتريفيكانس (*paracoccus denitrificans*) وهي بكتيرة عصوية الشكل تقوم بأكسدة منتجاتها التخمرية كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء^(١٢)، كانت سليفة مزامنة للميتوكوندريا وأنحدرت من نفس الجد الأعلى. عند مقارنة الجهاز التنفسي لهذه الهوائية مع نظيره في ميتوكوندريا الحيوانات والخميرة وجد ان الشبه كان باهرا . فالكوينونات والميتوكرومات (quinones, cytochromes) المأخوذة من أجهزتها للنقل الالكتروني مقارنة الشبه كثيرا. غير ان البكتيرة تختلف بأحتوائها على جدار خلوي وبقدرتها على اختزال النترات الى نيتريت (nitrate to nitrite) وبافتقارها الى جهاز نقل الأت ب (ATP)، بينما الجدران الخلوية والاختزال

التنتراتي فائضة عن حاجة المتعايشة بباطن الخلية وكان سيتم نبذها بالانتقائي الطبيعي. أما جهاز نقل الأتب، من جهة أخرى، فلم يكن ليتواجد في هوائية طليقة ولكنه خاصة ضرورية للميتوكوندريا ، لذلك فربما ان هذا الجهاز نشأ مع التعايش.

وما نوع المتعضية التي كانت ستمتص هوائية طليقة العيش الى باطنها في صحبة تعايشية؟ طالما يمكن اعتبار السيتوبلازمية كباطن الخلية المضيئة فانه يبدو ان الخلية المضيئة كانت لا هوائية ذات مسلك ايمبدن - مايرهوف (Embden-Meyerhoff Pathway) لتخمير الكربوهيدرات . يتم تدوين الانزيمات السيتوبلازمية في الدنا النووي، ولذلك فان النواة ايضا مشتقة من الخلية المضيئة . توجد حول نواة الخلايا اليوكاريوتية ثلاث سمات بارزة تميزها عن الدنا البروكاريوتي، فالمادة الجينية مرتبة في الصبغوسومات ، والنواة مغلقة بغشاء دهني، ويتم استساخ النواة بطريقة الانقسام الفتيلي. فربما ان احدى هذه السمات أو جميعها تلقي الضوء على طبيعة الخلية المضيئة السلف.

تختلف المادة الجينية اليوكاريوتية ايضا بكونها متواشجة مع البروتينات الاساسية أو القاعدية . بدنيا ، تقاوم جزيئة الدنا التعبئة او الرزم لأن مجموعات الفوسفات تميل الى الاشتحان سلبيا فتتافر بعضها البعض، ويتيح الغشاء النووي محايدة هذا التافر بالاحتفاظ بتركيز أعلى من ايونات الصوديوم الموجبة الشحنة في السائل النووي مما في السيتوبلازمية . كما تعمل هستونات المواد الجينية (Histone بروتين بسيط شديد القاعدية يدر حوامض امينية عند الحملأة)، ايضا على محايدة مجموعات الفوسفات وتسبب تعبئة متراسة.

اقترح دينس سرسى (Dennis Searcy) والماملون^(١٣) مع في جامعة



ماشوسيتس ربما ان الميكوبلازما المستوعبة للحرارة والحوامض
(*Thermoplasma acidophilum*: heat-and acid-tolerant) سليلة مزامنة للخلية
اليوكاريوتية. تملك هذه البكتيرة العديدة الجدران مسلك ايمبدن-مايرهوف،
وبروتينات شبه هستونية لوقاية الدنا فيها من الحرارة والحوامض، وسهلة
الدخول في المعاشرة . غير انه عند مقارنة سياق النووتيدات في الرنا
الريوسومية (16S) لهذه البكتيرة بنفس الرنا من متعضيات أخرى ابان التحليل
ان البكتيرة كانت أقرب اتسبابا الى البكتيريا الاركية ميثانوجنس (*methanogens*)
وهالوبكتيريا (*halobacteria*) ساهي الى اليوكاريوت المعاصرة (١٤). وعلى
ما يظهر جاءت الخلية المضيفة من صنف آخر من السلف او بطريقة أخرى
من النشوء.

واعتبار آخر هو ربما ان النواة بذاتها كانت قد بدأت كخلية في باطن
الخلية المضيفة . يحمل دنا النواة المدونة للانزيمات السيتوبلازمية وبمضا
من المعلومات الجينية للاورغانيلات من اصل تعايشي مع ذلك، فهو مغلف
بغشائه الخاص المنفصل، مما يوحي الى أن النواة ايضا بقية من تعايشة .
وكان قد أفصح عن هذه الفكرة البيولوجي الروسي ميريشوفسكي
(K.C. Mereschowsky) عند منقلب القرن ويدعما كل من جيه غوكسور
(J. Goksor) من النرويج، وجيه بيكيت هيس (J. Pickett-Heapes) من جامعة
كولرادو ، وايچ هارتمان (H. Hartman) من معهد ماشوسيتس للتكنولوجيا .
ألا انه اذا كانت النواة تعايشية فان السؤال يبقى مفتوحا حول ماذا حصل
لدنا المضيفة وكيف اندمج الجهازان.

من جهة أخرى، اذا كانت النواة قد نشأت من الدنا البروكاريوتي للخلية
المضيفة السيتوبلازمية ، اذن لا بد ان الدنا اكتسب غشاءه الخاص به في زمن



ما عند نشأته . عندما تنقسم الخلايا البروكاريوتية يلتصق الدنا فيها ونسخته بالغشاء النامي ويذهب كل منهما مع نصف الخلية الخاص به عند انقسامها . ولا يستبعد أن يكون الدنا في بكتيرة سلف قد التصق بالغشاء ثم انفصل في باطن الخلية بواسطة شدفة من الغشاء الخلوي .

كان من شأن اعتماد الدنا في باطن الخلية ان ينجم عن ايراد سريع لترتية الصبغوسوم . وربما ان استنساخ الدنا المنزل بواسطة الغشاء النووي اثناء المراحل الاولى من نشوء الخلية اليوكاريوتية قبل اتساق النواة مع الانشطة الخلوية الاخرى خلق الامكانية لتعدد الدنا والاتساع المفاجيء بالمواد الجينية .

توجد سمتان للخلايا اليوكاريوتية ظاهريا غير منتسبتين ربما كان لها أصل مشترك ، وهما عملية الانقسام الفتيلي والجهاز للحركة ، وكلاهما يتم في اليوكاريوت بحزم من الالياف تسمى بالقويصات المجهرية (microtubules) واذا كانت البروفسورة لين مرغوليس^(١٥) (Lynn Margulis) من جامعة بوسطن صائبة فان كلا من عملية الانقسام الفتيلي والوسيلة اليوكاريوتية للتنقل نشأتا من التعايش بين الخلية ما قبل اليوكاريوتية وصنف من البكتيرة المعروفة باللولبية أو اللولبية الشعيرية (spirochetes) .

بعض البكتيريا مجهزة بزائدة شعيرية واحدة أو أكثر تتألف من بروتينات ليفية لغرض الانتقال والحركة . وهذه الاسواط تمنح الحركة التنقلية ليس بحركة سوطية وانما بتقلص ايقاعي أو متوازن يتحرك لولبيا من خلال السوط من نهاية الى الأخرى، وبهذه الطريقة تستطيع البكتيريا النقلة مثل إي كولي (E. coli) من تحقيق سرعات تبلغ (٢٥) ميكرومترا بالثانية الواحدة أو ما يقرب من واحد من عشرة آلاف (٠.٠٠٠١) من الميل بالساعة الواحدة^(١٦) .

تستخدم الخلايا اليوكاريوتية ايضا تنوعات خلوية شعيرية للحركة .



وعندما تكون هذه النتوءات طويلة وقليلة ، مثل ذنب الجينات المنوية ، تسمى بالاسواط ويشار الى المتعضيات بالسوطيات . لكنها عندما تكون كثيرة وقصيرة فتسمى بالاهداب (cilia) ويشار الى المتعضيات بالهديبات . تتألف الاسواط والاهداب من حزم من الالياف ذوات بنية في غاية الاتساق . يبلغ قطر الواحدة منها (٢٥ ر) ميكرومتر وتتألف من ازواج من الاسطوانات الدقيقة (cyclinders) مع زوج آخر من القويصبات المجهرية في الوسط ، مضية عليها تنضيدة بنوية في (٩+٢) ، وبما ان اسواط وأهداب اليوكاريوت تختلف بنويها عن الاسواط البكتيرية المفردة الوهن الاصفر الأخرى ، فانها مصنفة معا تحت عنوان أو اسم المتمورات الارجل (audupodia) .

يوجد بين البكتيريا صنف تكون المتعضية فيه مفتولة لولبيا . وبعضها ، كالمشولات (vibrios) معقوفة قليلا فقط مثل علامة الفاصلة (،) ، بالعرية او: و باللاتينية) ، لكن اللولبيات (spirochetes) مفتولة لدرجة ملحوظة ، وتتألف ابدانها من اسطوانة بروتوبلازمية مغلقة بغشاء بلازمي (plasma membrane) واللولبيات شديدة الحركة للغاية بفضل طولها ورفاعتها ومرونتها ، وتتحرك في الوسط بحركات تمورية متموجة .

يوجد تشابه ضارب في الحركة والحجم بين اللولبيات والمتمورات الارجل من الخلايا اليوكاريوتية ، ومن انماط السلوك الشائعة لدى اللولبيات هو التصاقها بالاشياء والنبض بتوافق متناغم ، وتطرح مرغوليس مثالا فريدا من سلوك اللولبية بمتعضية معاصرة ربما يشبه واقعة غيفة حدثت في تاريخ اليوكاريوت . تمش في المصران المؤخر (hindgut) للارضة (termite) الاوسترالية بمتعضية يوكاريوتية تسمى بمختلطة الشعر الحيرة (mixotricha paradoxa) تملك أربعة متمورات الارجل . لكن الميكسوتريكا لا تستخدم هذه الزوائد للتنقل ، انما تتنقل بواسطة نصف مليون من اللولبيات الملتصقة بها المتحركة

في تمورات متسقة وتستخدم التمورات الارجل بمثابة دقف^(١٧) (جمع دقة).
توحي أوجه التشابه بين اللولبيات والتمورات الارجل للخلايا
اليوكاريتية الى ان هذه الاخيرة نشأت من تعايش عتيق للمتعضيات شبه
اللولبيات مع الخلية المضيفة . على ما يظهر التصقت اللولبيات بالخلية المضيفة
للاقتيات على الغذاء المتحلب من خلال الغشاء، وبدورها اسبغت المتعايشات
الحركية على الخلية ما قبل اليوكاريتية (pre-eucaryote) ، وهي صفة كانت
لتمنح اليوكاريوت الناشئة ميزة كبرى في البحث عن القوت . كما تفسر النظرية
التعايشية ايضا السبب في قدرة التمورات الارجل على الانفصال احيانا من
الخلية والسباحة بعيدا هاجرة اياها .

لا تزال الشواهد الكيميائية التي تنسب أصل التمورات الارجل الى
اللولبيات السلف ناقصة قليلة ، انما قد يعود هذا الى أن تعاشرها التعايشي
بدأ قبل تعاشر الميتوكوندريا والجبيالات اليخضورية بزمان طويل جداً . مع
ذلك ، فقد تم العثور على الرنأ في الحركوسومات (kinetosomes) وهي ابدان
خلوية صغيرة تنمو منها التمورات الارجل . وباستثناء الرنأ يبدو ان
التمورات الارجل لم تعد تتضمن موادا جينية ، بعد ان انتقلت قدراتها التكاثرية
والتأيفية الى الصبغوسومات النووية اثناء تبعية تعايشية طويلة .

لكن بنيويا تملك التمورات الارجل التضيدة القويصية المجهرية
٢+٩ المرئية في تركيبة بعض اللولبيات ولاسيما تلك الموجودة في نمل الارضة .
زيادة على ذلك ، ان حجم الزوائد اليوكاريتية والبكتيريا اللولبية متساو
تقريبا . فاذا كانت اللولبية سليمة مزمنة فان التعايشة فقدت غشاءها البلازمي
اثناء فترة نشوء الخلية اليوكاريتية .

من المستلزمات الخطيرة لليوكاريوت الناشئة كان التناسخ والانفصال

المنتظمين للدنا النامي لها. لقد أصبح الدنا اليوكارويوتي الف مرة اكبر من الدنا البسيط في البكتيريا، فطورت اليوكاريوت عملية الانقسام الفتيلي لغرض نسخ وتقسيم هذه الترتيبة المعقدة . وعند الاشارة تقوم بدينامات نقطوية دقيقة تسمى بالوكائت او الستريولات بالذهاب الى الاجزاء في الجانب المقابل من الخلية وترسل وشائع (spindle = وشيعة) للاتصاق بالصغوسومات ولها على كل نصف من الخلية . تبين نصبة المجهر الالكتروني لمقطع عرضي من الوكيتة ان هذه الاورغانيلة تضم نضيدة من (٩+٠) من القويصبات المجهرية . ويختلف نمطها عن تلك في التمرورات الارجل فقط بأندام زوج من الاسطوانة في المركز .

تقترح مرغوليس^(١٨) ان الآلية الدقيقة المحككة والعالية القدرة لعملية الانقسام الفتيلي كانت قد اكتسبت تعايشا من متعضية حركية ذات النضيدة (٩+٢) . وربما كان بين نفس اللوليبات الحركية التي كانت اسلافا لاسواط الخلايا اليوكارويوتية متعايشات دخلت الى الخلية من خلال الغشاء بلا رجعة الى الابد .

أدى اكتشاف الطبيعة البولي جنومية للخلية اليوكارويوتية بالبيولوجيين الى الادراك ان الانتقال من البروكاريوت الى مرحلة أعلى من الحياة لم يتم بالتطور من صنف واحد من الخلية ، وانما من تضافر منها (consortium) لدينا سلف في ماضينا لما قبل الكمبري كان قد نتج عن اندماج العديد من السلالات السلف التطورية . كما أن الطريقة التي تم بها هذا الالتئام بين أصناف متنوعة من المتعضيات هي ظاهرة شائعة لا تزال مستمرة في العالم البيولوجي الى اليوم . رغم ذلك، لقد كان التعايش الذي أسفر عن اختلاق الخلية اليوكارويوتية فريدا منقطع النظير في مغزاه، اذ أنه اقتحم العتبة التي انفتحت الى تعاقب سريع نسبيا الى جميع الاشكال الأعلى من الحياة، بما فيها الجنس

البشري ذاته.

كانت نشأة الخلية اليوكاريتية باهرة النجاح وأفضت الى مجيئنا الى الوجود . لكن الحياة بقيت مقتصرة على المستوى الميكروبي لفترة ثمانين بالمائة (٨٠٪) من زمن وجودها قبل أن تبدأ النباتات والحيوانات بالظهور فلماذا استغرقت كل هذه المدة الطويلة؟

كانت الارض قبل التي (٢٠٠٠) مليون سنة عالما في الانتقال . ومنذ ان نشأت الطحالب الخضزرزقاوية مع قدرتها الانزيمية على تحفيز الماء ضوئيا كانت قد بدأت تطلق الاوكسجين في البيئة ، لكن لمجرد ان يجري امتصاصه بسرعة في ايونات الحديد الثنائي التكافؤ للبحار الآركية وترسيبه كأوكسيدات غير ذائبة مع السيليكات في قرارات حديدية طبقية . لكن بعد انقضاء الف (١٠٠٠) مليون سنة كانت «بالوعة الاوكسجين» قد بدأت تفرغ من الايونات المختزلة . ثم في انبثاق أخيرة من الترسيب قبل حوالي الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت انتظفت البحار من الحديد الذائب ومعها بدأ الاوكسجين الجزيئي يتراكم في الجو وفي البحار^(١٩) . وتركت الارض أحوالها المنقوصة في العهد العتيق خلفها فيما أخذت تتجه نحو الحالة المؤكسجة (oxygenated) وخواصها الحديثة ، ويتناميه حمل الاوكسجين معه ما جعل المتعضيات تتكيف لمفعوله القوي المكين . لقد جاء الاوكسجين بمثابة سم قتال يحمل معه الموت للاحياء اللاهوائية التي اضطرت الى الاحتماء منه واتقائه في الاماكن المستورة والبقع الحاجة له . اما بالنسبة الى الهوائيات فقد حمل الاوكسجين معه وعد الفسفرة التأكسدية (oxidative phosphorylation) وتركيز للطاقة أعظم بشمانية عشر مرة (١٨) من تاج التخمر الهزيل .

يبدو ان اليوكاريتوت ظهرت في زمن يقع في حوالي ما قبل الف واربعمائة (١٤٠٠) مليون سنة خلت . ومع القوة الدافعة للعلكلة الكلية (total glycolysis)

تمكنت من استمداد الطاقة الكافية لدفع نفسها قدما الى عالم جديد بأجمعه . وفي بحر ستمائة الى سبعمائة (٦٠٠-٧٠٠) مليون سنة بدأت اللاحشويات والسك الهلامي والاسفنج بالظهور في البحار مخترقة حاجز تعدد الخلوية، وما ان انفتحت دروب البعد الجديد هذا حتى امتلأت بسرعة وفي بحر مائة (١٠٠) مليون سنة بأشكال الحياة الجديدة في اتساع انفجاري متشعبة الى جميع الاصناف التشريحية الاساسية . ولم يبق الآن الا استيطان القارات بالاحياء الحيوانية والنبات وظهور الفقريات ، وكلاهما تم في وقت لاحق . يوجد اجماع بين علماء الارض على ان الكمية الهائلة من الاوكسجين المطلق الموجود في الجو هي نتيجة تراكمه عبر الدهور من المتعضيات الضوء تمثيلية التي ما فتئت تصبه في البيئة . ولا تزال هذه العملية مستمرة اليوم بواسطة النباتات والمتعضيات المجهرية الضوء تمثيلية ، مع ما يقدر بتسعين بالمائة (٩٠٪) من هذا الاوكسجين متولدا بفعل العواقي الاشنية أو النباتية في البحار (phytoplanktons) . ان الاوكسجين الجوي بتركيزه البالغ واحدا وعشرين بالمائة (٢١٪) يقدم أكثر من مجرد توفير الاحوال الملائمة لديمومة الحياة الهوائية ، فهو ايضا يوفر ساترا من الاوزون (ozone) في الطبقات الاعلى من الجو لدفع الاشعاع ما فوق البنفسجي في المدى ما بين (٢٤٠-٢٩٠ نانومترا والمدمر لجمع المواد العضوية . (ملاحظة نانومتر nanometer وهو جزء من الف مليون جزء من المتر، أي طول قدره 10^{-9} متر) .

للضوء ما فوق البنفسجي تأثير ضار وتدميري على المادة الحية ، ويحطم المتعضيات المجهرية المكشوفة بسرعة بشل نشاط مادة الدنا فيها . وهو السبب في سفح أو حرق الشمس . انما جميع الاشعاع ما فوق البنفسجي محجوب اليوم بواسطة طبقة الاوزون الكائنة في تخوم الجو العليا والمتكونة بفعل الضوء ما فوق البنفسجي القصير الموجه على الاوكسجين . وقبل تواجد



الأكسجين الجوي كانت الأشعة ما فوق البنفسجية من ضوء الشمس تسطع على سطح الأرض وتتغلغل إلى الطبقات العليا من البحار بشدة عنيفة وتشر الدمار بين الحياة الضعيفة المعرضة لها. (ملاحظة: الجو يعني أيضا وحدة مقايسة فيزيائية لقياس الضغط الجوي، والجو الواحد له ضغط قدره (١٠١٣٢٤٩) داينا بالسنتيمتر المربع على سطح البحر (dyne/cm²) ، أو حوالي (١٤.٦٩) رطلا (lbs) بالبوصة المربعة . وبجو واحد يبلغ مقدار الاوزون في هذا الدرع الطبقة طبقة من الغاز الصرف سمكها فقط ثلاثة سنتيمترات . انما هذه الكمية مددوقة بالطبع بغازات الهواء الاخرى وتقع على ارتفاع يتراوح ما بين عشرة الى أربعين (١٠-٤٠) ميلا، أي ان الطبقة الجوية المحتوية للاوزون تبلغ في الواقع عدة اميال في سمكها . مع ذلك، فاذا انتقصت كمية الاوزون في الجو الى الثلث، على سبيل المثال ، فان ذلك سيؤدي الى تدمير بشرتنا في ظرف دقائق عند التعرض ، ومن جهة أخرى، لو ضوعفت هذه الكمية من الاوزون فمن المحتمل أن يؤدي هذا الى فناء الجنس البشري من الوجود بسبب انعدام فيتامين جوهري، ويختق بفعل تراكم كتل البكتيريا الهائلة).

تعرضت الأرض خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة وبزوغ فجر الحقب الكمبرية ما قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة خلت، الى تغير بالغ وشامل ماديا وبيولوجيا اثناء ما كان مستوى الاوكسجين الجوي يتزايد. اثار دخول الاوكسجين المطلق الى البيئة تجاوبين بيولوجيين اثنين، اذ معه بدأت الهوائيات تظهر مستخدمة أيضا تأكسديا محدودا منخفض الطاقة، وبدأت اللاهوائيات تشد الوسائل لانتقاء آثاره القتالة. لابد أن ردود الفعل هذه وقعت في آن واحد. وعندما يبلغ الضغط الجزئي للاوكسجين ارتفاعا كافيا للفسفرة التأكسدية ينقبض الهيدروجناز (hydrogenase) وغيره من الآليات التحفيزية اللاهوائية المماثلة وتأكسد حتى الخمول. وكان أول من لاحظ هذا المستوى للاوكسجين حيث يكتبت الاختمار



ويتوقف فيتيح الامكانية لبدء الحياة الهوائية (aerobiosis) هو لويس باستور،
ويبلغ هذا المستوى واحد بالمائة (١٪) من تركيز الاوكسجين اليوم (٢٠) .

والى أن تراكم درع واف من الاوزون في أعالي الجو لحجب الضوء
ما فوق البنفسجي لابد ان مواطن الاحياء الضوء تمثيلية بقيت مقتصرة على
منطقة ضوئية محجوبة بطبقة من الماء أو الرواسب المتلزمة . ومع تضاؤل
الاشعاع ما فوق البنفسجي أمام الطبقة الاوزونية المتزايدة بدأت العوالق
الاشنية او النباتية البحرية تتسع وتتصاعد الى الطبقات السطحية حيث التمثيل
الضوئي أكثر نشاطا . ويغلب الاحتمال أن انتشار العوالق الاشنية البحرية
على سطح البحار المكشوفة عجل الى حد كبير من ازدياد الاوكسجين في
النطاقين البحري والجوي وبدوره ادى الى تزايد الطبقة الاوزونية واتساع
المنطقة الحياتية .

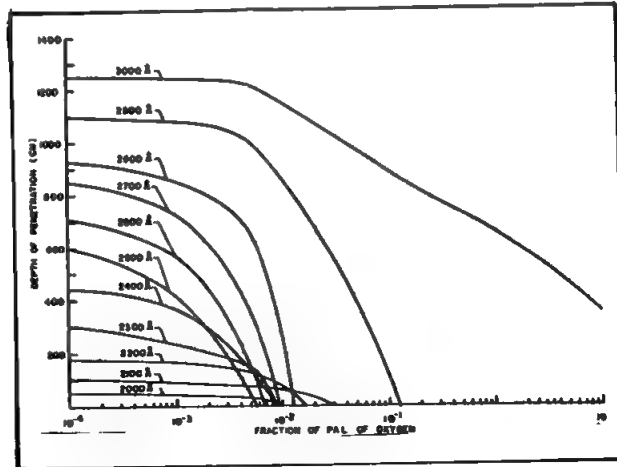
انما بالرغم من امكانية رسم توالي الاحداث فان تنظيمها في تسلسل
زمني ثابت أكثر صعوبة ، يتوقف تثبيت زمن التجاوب البيولوجي وظهور
الطبقة الاوزونية على معرفة مستويات الاوكسجين الجوي اثناء الاحقاب
ما قبل الكمبري، وهذا لا يمكن سوى استنتاجها بأسلوب غير مباشر . لكننا
نعلم من السجلات الاحفورية ان الحيوانات ذوات الاجزاء الصلبة نشأت على
نحو انفجاري في البحار عند بداية الحقب الكمبرية وأخذت تستوطن
القارات بحوالي مائة (١٠٠) مليون سنة بعد ذلك .

بدون الاوكسجين الجوي كان الضوء ما فوق البنفسجي بموجة طولها
٢٦٠ نانومترا يتغلغل في الماء حتى عمق سبعة (٧) امتار . وقد قام ايل دبليو
بركنر (L.W. Berkner) وايل سي مارشال (٢١) (L. C. Marshall) بالتدليل على
ان هذا الاشعاع المخرب بيولوجيا كان قد انتقص فجأة مع ارتفاع مستوى



الايوكسجين بنسبة واحد الى عشرة بالمائة (١-١٠٪) فوق نقطة باستور متيحاً بذلك المجال أمام العوالق، الاشنية البحرية للتوسع والانتشار في جميع أنحاء الطبقات السطحية للبحار، فزعمت هذه بسرعة وتيرة تراكم الاوكسجين. وبارتفاع مستوى الاوكسجين الى نسبة ثلاثة بالمائة (٣٪) فوق نقطة باستور كان قد أصبح ممكناً ابتداء مؤايضة المتطلبات الاوكسجينية المنخفضة نسبياً مؤدية الى ظهور موجة من تعدد الخلوية بين اليوكاريوت.

لقد أشار بريستون كلاود الى أن تزايد الاوكسجين يبطئ بعد ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون سنة خلت كان قد اصطحبه تزايد في انتشار رواسب الحجر الجيري والدولوميت، مما يدل على انتقاص مستوى ثاني اوكسيد الكربون الجوي. وربما أن سعة انتشار القارات أو الرواسب الجليدية في آونة أواخر الدهر ما قبل الكمبري تعكس النسبة الكبيرة في ازدياد الاوكسجين وفي انتقاص ثاني اوكسيد الكربون في تلك الآونة. وقلة



الشكل ١/١١ - رسم بياني يبين مدى تغلغل الاشعاع ما فوق البنفسجي في الماء في خلانات مختلفة من أجواء الاوكسجين والاوزون

الاوكسجين اثناء الازمنة ما قبل الكمبرية مدعمة بندرة الغلوكونيت glaucoite وهو سيليكات البوتاسيوم والحديد، وقرارات كبريتات الكلسيوم الرسوية في نفس الازمنة ، على نقيض غزارتها في الرواسب الاكثر حداثة.

لا شك ان ظهور الحيوانات المتعددة الخلايا جاء في أعقاب نشوء العمليات الخلوية الاساسية اللازمة لجعل ظهورها المفاجيء ممكنا، وتوجد ادلة يولوجية على ان الاوكسجين كان قد أصبح عاملا مؤثرا في البيئة بزمان طويل يسبق ما توحي به الآثار الجيولوجية . وقد أعلنت مرغوليس ورمبلر^(٢٢) Rambler ان البروكاريوت ، وحتى أنواع قريبة الانتساب، كثيرا ما تختلف في تجاوبها للاوكسجين ، مما يوحي الى انها طورت انماطها التأيضية الرئيسة بالاستجابة الى مستويات من الاوكسجين متباعدة ومتصاعدة . لكن لما كانت اليوكاريوت متوحدة للغاية في تجاوبها للاوكسجين، فإن هذا يوحي في الظاهر الى ان آلية مواجهة الاوكسجين كانت قد نمت في مجموعات بروكاريوتية مختلفة وكانت قد تطورت وترسخت حين ظهرت اليوكاريوت.

وهذا الرأي يبدو مدعما بالعلاقة الظاهرة لانزيمات الاوكسيداز (oxidase) التي تعمل على اخمادفاعية البروكسايد (peroxides) . وقد كشف التسيق أو ترتيب السياق الجزيئي عن درجة عالية من الشبه في سياقات الطرف او النهاية العيارية (N-terminal) لديسميوتاز السوبروكسايد (superoxide dismutase) بين انزيمات الحديد والمنغنيز في بكتيريا كولي، و ريمة المنغنيز الميتوكوندرية، وبكتيريا باسيلاس ستيروثروموفيلاس (Bacillus stearothermophilus) أي العصية او القويصة الحرارية الدهنية او المجتذبة اليها، مما يجعل من المحتمل ان الجد او السلف في أصل القويصة (bacillus) كان يملك ديسميوتاز سوبروكسايد وظيفية^(٢٣) . غير ان هذا لا يدل بالضرورة على

تواجد مستوى عام من الاوكسجين الجوي والذائب في البيئة ابان الدهر الاركي، وذلك لأنه كان بإمكان اصناف بروكاريوتية وثيقة الصلة بالطحالب الخضزرقاوية المطلقة للاوكسجين أن تنمي الاوكسيداز والتأبيض التأكسدي بزمن طويل قبل وصول الجو الى حالة مؤكسدة ، والى حد كبير مثلما تفعل الميثانوجين اليوم في استمداد الهيدروجين الغازي المتحرر من الكلوستريديا.

تطرح مرغوليس قضية مقنعة في انه كان بإمكان المتعضيات المجهرية أن تنمو على حواشي أو ضفاف القارات بزمن طويل قبل ظهور النباتات والحيوانات فيها في الحقب الكمبرية فقد كان بوسع مستوى من الاوكسجين الجوي قدره واحد بالمائة فقط (١٪) من نقطة باستور أن يوفر ما يكفي من الاوزون لوقاية سطح الارض من أغلب الاشعاع القاتل . زيادة على ذلك ، تملك المتعضيات المجهرية البروكاريوتية العديد من الوسائل لوقاية نفسها ضد الاشعاع، بما في ذلك آلية انزيمية تعمل على اصلاح الدنا التالف . وعليه ليس من المستبعد أن تكون الحياة قد زحفت الى القارات حتى منذ الدهر الاركي، وذلك في حصيرة غلافية من طفاحة البكتيريا الضوء تمثيلية الخضزرقاوية والارجوانية ممتدة من السواحل، وتحت هذا البساط كانت طبقات من البكتيريا اللاهوائية واللاضوء تمثيلية الصفراء والبنية والسوداء تسعى وراء غذائها فيما كانت بكتيريا أخرى غضة الابدان واصناف من الفطر تنمو بين دقائق التربة (٢٤).

تعتقد مرغوليس ان الزمن الطويل الذي استغرقت اليوكاريوت للتطور الى حيوانات الحقب الكمبرية المعقدة المتعددة الخلايا مرده الى عوامل بيولوجية أكثر منها بيئية . استلزم الزحف نحو تطور معقد لخلائق ذوات اقباض وعظام العمليات الدقيقة المتقنة المتمثلة في الانقسام القليلي - الانقسام الاختزالي (mitosis-meiosis) وتنظيم الكليسيوم ، واصبحت عملية الانقسام القليلي ممكنة فقط من خلال تنشئة دورة خلوية (cell cycle) ، ونظام



صبغوسومي، وآلية التوزيع الجيني بواسطة القويصات أو الاوعية المجهرية (microtubules) • وتتطلب أجهزة القويصات المجهرية الفتيلىة الانقسام تركيزات منتظمة ومنخفضة من ايونات الكلسيوم لبلرة البروتين وربما كانت مسبقا قد كيفت متعضيات لتقوم لاحقا بتنشئة خواص كربونات كلسيومية سائدة وواقية ، جميع هذه العمليات تحتاج الى اوكسجين وكانت تستغرق زمتنا طويلا للنشوء.

عند تعريض المتعضيات المجهرية الى مدرج اوكسجيني (oxygen gradient) سواء في المختبر أو في الطبيعة كما في اعماق التربة ، ينتهي انتشارها بما يعكس مستوى الاوكسجين • تتراصف البروكاريوت في المدرج بحسب تباين احتياجها الى الاوكسجين ، مينة بذلك ان هذا الغاز لا يزال عاملا انتقائيا بالنسبة اليها . أما اليوكاريوت ، من جهة أخرى ، فانها تنزع كمجموعة الى الاختلاط بالمستوى الهوائي التام . وتعتقد مرغوليس ان هذا دليل قوي على ان جو الارض كان مؤكسجا بالتام عندما نشأت اليوكاريوت (٢٥) .

غير ان تقدير وتيرة النشوء عملية غير أكيدة مثلما هي عملية تقدير تركيزات الاوكسجين في الدهر ما قبل الكمبري ، ذلك لأن النشأة البيولوجية ليست عملية منعزلة بذاتها وانما وثيقة الارتباط بالبيئة المادية الطبيعية . لقد خلقت المتعضيات الضوء تمثيلية في اكسجتها للبيئة كميناً من الطاقة أمد اليوكاريوت بالقوة اللازمة لنشوءها . لا يبدو من المحتمل انه قد انقضى زمن طويل بين النشوء البيولوجي والجيولوجي ، وربما أن سرعة تعجيل تزايد مستوى الاوكسجين في أواخر الدهر ما قبل الكمبري أدت الى تعجيل مماثل في النشوء البيولوجي ، مثلما أدت الاماكن البيئية الجديدة الافتتاح الى تنوع انتفجاري لاستيطانها .



الفصل الثاني عشر - البكتريا الاركية او الاولية

لم يكن ارتقاء المنظومات البيولوجية الى حجم اكبر وأكثر تعقيدا من مجرد التثام للكميائيات البسيطة قبل ما يناهز الاربعة آلاف مليون سنة خلت تقدا سويا مطردا . فالنشأة الداروينية تشرح لنا الوسائل اللازمة لارتقاء الحياة الى المتعضية الاكثر اقتدارا في البقعة البيئية الملائمة (ecological niche) . انما في مناسبتين رئيسيتين نهضت خلائق بيولوجية من المستوى الثابت الراسخ لتنتشر في متسع أكبر في العالم المادي، في ساحة جديدة كل الجدة من البقع البيئية المكشوفة في العراء . واحدى هاتين المناسبتين كانت نشأة الخلية اليوكاريتية التي فاقت الخلية البكتيرية حجما وتعقيدا بدرجات عدة . أما المناسبة الأخرى فكانت عندما انبجست الحياة من عالم الميكروب الى تعدد الخلايا، الى البعد الملموس للنبات والحيوان .

تبقى المبادئ الداروينية صائبة مشروعة على جميع المستويات . فالمتعضيات تفرط في مكاثرة نوعها، والتنافس بين الافراد يفضي الى تحسين الخاصية التكيفية . لكن التنافسية في النشأة أثناء التدرج من الميكروبة الى الانسان قد انتقلت من الكيميائي الى المادي . تتألف الحياة في المستوى البكتيري من التنافس بين العمليات اليوكيميائية على استهلاك المواد ذات الطاقة الكيميائية ، والتقدم الى رتبة اليوكاريتية والحجم التعددي الخلايا دفع بالتنافس الى حدة التكالب بالمخالب والاضراس ، والى الأشكال والزوائد البدنية لانتزاع المواد العضوية من باطن النطاق الحيوي . اذ فقط الضوء تمثيلات كانت تستمد طاقتها من الخارج، بينما كانت كافة أشكال الحياة الأخرى تسعى في التركيبة البيولوجية للنطاق الحيوي ذاته للحصول على ما يعينها على البقاء .



لقد أثر التقدم من التنوع البيوكيميائي الى تكييف التفاصيل البنيوية في عمل الخبراء الباليوتولوجيين المعنيين بمهمة تشييد السلم النشوئي، وكانت الآثار الاحفورية، التي تكشف عن التغيرات الشكلية المورفولوجية ، وسيلة ثمينة في الاستدلال على السلالات الانحدارية للنباتات والحيوانات منذ ظهورها في فجر الحقب الكمبرية قبل خمسمائة وسبعين (٥٧٠) مليون سنة خلت. انما تشييد الخطوط السلالية الانحدارية للبكتيريا، من جهة أخرى، كان أمرا مختلفا بحد ذاته، وذلك لأن تنوعية البكتيريا يوكيميائية الصفة بالاصل . فقد اقتضت سعة انتشارها وتنوعيتها على تباين العمليات الانزيمية لاستدراار الطاقة الكامنة في الاصناف المتعددة من المواد الكيميائية ينما بقيت اشكالها البدنية شديدة الشبه قلما توحى بأية أدلة الى ترتيبها النشوئي. وبالنتيجة ، فإن بساطة الشكليات البكتيرية بذاتها تحول دون امكانية استمداد أية معلومات تنويرية من أحافيرها المجهرية.

استلزم الامر النزول الى مستوى آخر من التعقيدية لاقامة علاقة بين الانواع العديدة من البكتيريا، الى المستوى الكيميائي حيث تنمو الجزيئات بالحجم فوق الصغير اللامحسوس لتصبح الجزيئات العملاقة لعمليات الحياة. فعندما تتعرض جزيئة الدنا للتبدل الطفري في سياق نووتيداتها ، ينعكس هذا التغير في تركيبة كل من حوامضها النووية وبروتيناتها على السواء، وبهذا تتحول هذه اليوبوليمرات الى ساعات أو أجهزة قياس زمنية جزيئية يمكن استخدامها لتحديد الزمن الذي تشعب فيه النوع من سلف مشترك. وعليه ، بمقارنة الجزيئات المتماثلة من متعضيات مختلفة يتمكن الخبير البيولوجي من وضع العلاقات السلالية للكائنات الحية في ترتيبها السلالي الانحداري، ويشمل هذا حتى التنويع الهائلة من البكتيريا.

بوسع تاريخ البكتيريا السلالي أن يوفر لنا منظورا الى الخواص



البيوكيميائية الأكثر عتاقة، ومتى ما امكن تمييز التدرج الترتيبي، نستطيع أن تتساءل ببعض الثقة في الحصول على جواب: كيف كان اعتق اشكال الحياة؟

يمكن الحل للالقية السلالية في الكون المجهري الكيميائي للبكتيريا في تشييد خطوط السلالات الانحدارية للعمليات التآيضية ، ويمكن انجاز هذا بمقارنة النووتيدات الزمن قياسية، أي الحوامض النووية والبروتينات الداخلة في المسالك البيوكيميائية ، مع تركيز الاختيار على تلك البيوكيميائيات التي يمتد وجودها أقرب ما يمكن الى جذور الحياة السلف الاول . لكل من الفريدوكسين والسيتوكروم علاقة مشاركة بجهاز النقل الالكتروني في عملية استمداد الطاقة ، ولذلك فانهما قاعديان لا ريب . ولما كانت ترجمة المعلومات الجينية الى بروتينات تتم في الريبوسومات فان هذه تملك اسلافا سلالية ينبغي أن تمتد الى زمن ظهور الشكل البكتيري للحياة .

قامت مرغريت دايهوف وروبرت شفارتس^(١)، في مدرسة الطب لجامعة جورجيتاون بواشنطن دي سي بطرح شجرة سلالية للاسلاف البكتيرية مبنية على سياقات الفريدوكسين والرذا الريبوسومية خمسة أس (5S ribosomal RNA) والسيتوكروم سي للبكتيريا ، فقد اكتشفا ثلاث مناطق من التجدد او الابتداع التآيضي ظهرت في الدهر ما قبل الكمبري، وأقدمها هي سلالة لا هوائية ، بينما تعكس المنطقة الوسطى قيام التمثيل الضوئي المحرر للاوكسجين والتنفس الهوائي . ومن هذه المنطقة نشأت البكتيريا الهوائية والتعاشر التعايشي الذي افضى الى ظهور اليوكاريوت .

وبناء على سياقات الفريدوكسين تأتي الكلوستريديا نوع البكتيريا اللاهوائية التي تبدو الاقرب الى جذور الاصل السلف . فاللاهوائيات تستخدم الفريدوكسين في شطر حامض البيروفك لاستخراج فوسفات الاستيل (acetyl phosphate = والاستيتيل هو الجذر الاساس او الشق (radical)



ذو الصيغة CH_3CO وهو مشتق من حامض الخليك ويتواجد فقط في مركبات أساسية وايضا في الكربكسجة الاختزالية لأحد مشتقات الانزيم المساعدة أ الاسيلي أو الشق اساسي (reductive carboxylation of an acyl=acyl coenzyme A derivative) اسيل هو شق اساسي (radical) صيغته RCO مشتق من حامض، عضوي بنزع مجموعة OH منه. والكربكسجة carboxylation مركبة من كلمتي كاربون واوكسجين. وعليه فإن الفريدوكسين هو الذي اتاح للكلوستريديا العتيقة (ancient clostridia) لشد احتياجاتها من الأت ب ATP ومنحها القدرة الاختزالية للتفاعلات البيوسنتيكية (biosynthetic) بالغللكة وشطر البيروفات. وبعض الكلوستريديا تملك القدرة للقيام بالتمثيل الكلي للخلات (acetate) من ثاني اوكسيد الكربون اثناء التخمر، بينما تقوم أخرى بأختزال الفيومارات fumarate : ربما دخانات، أي املاح دخانية الى خلالات. وبناء على هذا يمكن الاستنتاج أن انواع الكلوستريديا الاولى كانت تملك المقدرة على اختزال ثاني اوكسيد الكربون وتمثيل الهيم او الصفيغيم (heme) لسيتوكروماتها، واستعمال الفوسفات كمتقبل الكتروني نهائي (terminal electron acceptor) لعمليتها اللاهوائية في استخراج الطاقة.

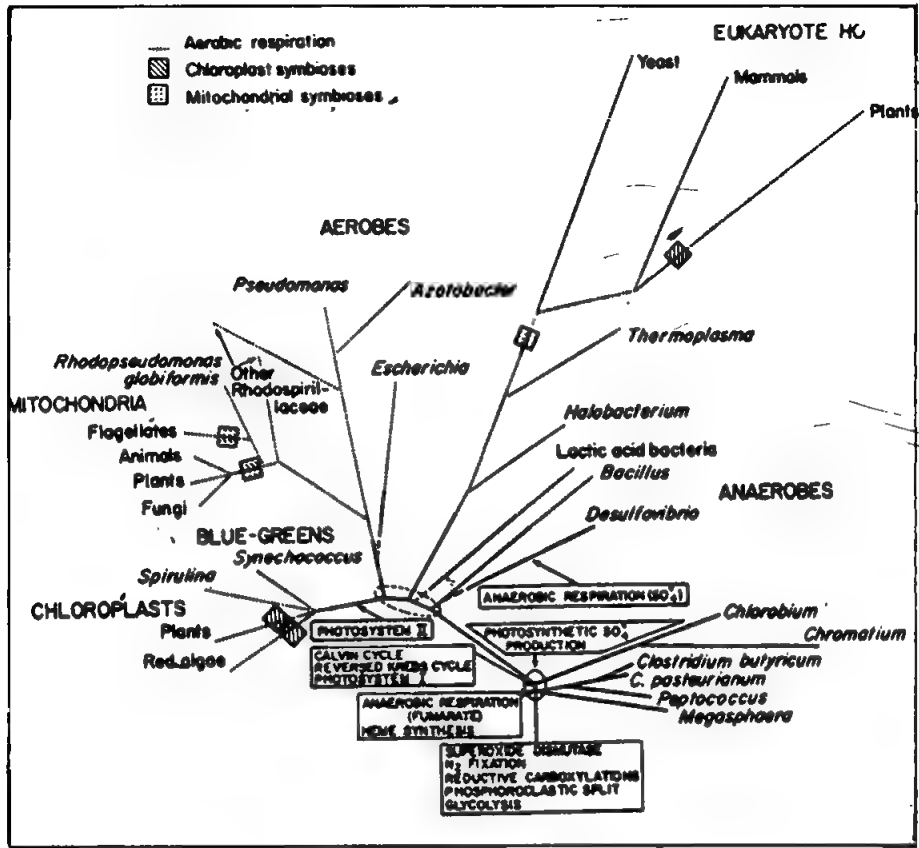
كما أن تثبيت النيتروجين ايضا من العمليات التي تتواجد في أنواع عديدة من الكلوستريديوم وايضا في بكتيريا الكبريت الاخضر كلورويوم (chlorobium)، وفي أغلب انواع البكتيريا المختزلة للكبريت من صنف ديسالفوفيريوم (Desulfovibrio). تتطلب عملية اختزال النيتروجين الى امونيا اربع جزيئات من ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) لكل زوج من الالكترونات، وست الالكترونات من نازع او مختزل Reductant منخفض الطاقة مثل الفريدوكسين. تحمل الالكترونات (electron) بروتيمة حديد (Fe-protein) وبروتيمة موليبدنوم حديد (MoFe-protein) لا صلة لهما بالفريدوكسين وانما



يتضمنان أيضا عناقيد الحديد-كبريت (iron-sulfur clusters) وفي العديد من الحالات يمكن لمكون نيتروجناز (nitrogenase component) من نوع بكتيري تكملة المكون الآخر في نوع بكتيري آخر، مما يوحي الى انه قد تم الاحتفاظ بوظيفة البروتينات في تثبيت النيتروجين وان هذه الآلية خاصة بدائية بين العمليات الحياتية^(٢).

كانت عملية التمثيل الضوئي اللاوكسجينية متواجدة لدى المتعضيات الاولى بزمان طويل قبل ظهور عملية تفكيك الماء بالتحفيز الضوئي المحررة لالوكسجين (oxygen-liberating photocatalytic dissociation of water) وبكتيريا الكبريت الاخضر (chlorobiaceae) وبكتيريا الكبريت الارجواني (chromatiaceae) هي متعضيات ضوء تمثيلية من اصل سلالي قديم للغاية تقوم باستعمال كبريت كبريتيد الهيدروجين بدلا من اوكسجين الماء كمصدرها من الالكترونات. في بكتيرة الكبريت الاخضر (chlorobium) يتم امتصاص الضوء باليخضور البكتيري (bacteriochlorophyll) الذي يجري استخدامه لاختزال ناد (NAD، أي ثاني نووتيد ادينين النيكوتيناميد) بسيل من الالكترونات من متقبل الالكترون الابتدائي عبر الفريدوكسين وريدكتاز (reductase) الناد، ثم يقوم الكبريت بامداد اليخضور البكتيري بالالكترونات مرة أخرى بواسطة سلسلة سيتوكرومية . أما بكتير الكبريت الارجواني، من جهة أخرى، فتقوم بتوليد الأت ب (ATP) من جهاز نقل الالكترون دائري (cyclic) يقوم بدوره بتمرير الالكترون من المتقبل الابتدائي الى اليوبكوينون (ubiquinone) وسياق من السيتوكرومات عودة الى اليخضور البكتيري. تسمى عملية التمثيل الضوئي هذه بالجهاز الضوئي واحد (photosystem I) ، وتشمل أجهزة النقل الالكتروني الدائرية ، واللا دائرية (noncyclic) ، والعكسية (reverse) وجميع المبتكرات الاولى ، ويفترض ان المتعضيات من هذا الصنف نشأت بعد الكلوستريديا بقليل.





الشكل ١/١٢ - شجرة السلالات التطورية للبروكاريوت واليوكاريوت مبنية على سياقات الفريدوكسين والسيكروكروموسي.

وينما تقوم بكتيريا الكبريت الاخضر والارجواني بانتاج الكبريتات باستخراج الالكترونات من الكبريت تستمد اللاكبريتية الارتجاجية (Desulfovibrio) باختزال الكبريتات . تحفظ هذه البكتيريا بالعديد من الخواص للسلالة اللاهوائية مثل الكلوستريديا ولكنها في الحقيقة فريدة في الطريقة التي تختزل بها الكبريتات . تشمل العملية على خماسي فوسفوكبريتات

الآدنوسين (adenosine 5-phosphosulfate) وبروتينة حاملة نوعية تسمى
السيوكروموسي. وعليه فقد اقترح ان اللاكبريتية الارتجاجية نشأت بعد
البكتيريا الضوء تمثيلية المنتجة للكبريتات^(٢). قام مانفريد شيدلوفسكي
(Manfred Schidlowski) من معهد ماكس پلانك بألمانيا الغربية باستحصاف
بيانات نظائرية (isotopic) حول عينات من درع الدان (Aldan Shield)
بسييريا والتشكيلات الحديدية المخططة أو الطبقة من كندا توحى بأن مختزلات
الكبريتات ظهرت بين ما قبل الفين وثمانمائة (٢٨٠٠) مليون وثلاثة آلاف
(٣٠٠٠) مليون سنة خلت^(٤).

بعد ذلك بزمن وقبل الفين (٢٠٠٠) مليون سنة ظهرت الطحالب
الخضرزرقاوية من سلالة لا هوائية تستخدم الماء كمورد الكتروانات لعملية
النزع الضوئي (photodissimilation) لثاني اوكسيد الكربون . تستخدم طريقة
التشيل الضوئي المطلقة للاوكسجين هذه اليخضور أ (chloophyll a)
وبروتينات الصفرعشبية (phycobiliproteins) كأخضبة مصاصة للضوء، وعلى
تقيض البكتيريا الضوء تمثيلية الاخرى التي تستخدم $NADH$ كعامل مختزل
لثاني اوكسيد الكربون، تستخدم الطحالب الخضرزرقاوية $NADPH$
والاهمية الهائلة لظهور الطحالب الخضرزرقاوية في النشأة هي انها اطلقت
الاوكسجين السائب في البيئة (environment) الى أن في الاخير غيرت الصفات
الكيميائية للبحار والجو وخلقت الاحوال المؤكسجة للتنفس الهوائي.

حمل التكيف الاضطرابي لتواجد الاوكسجين المتعضيات على تسمية
جهاز نقل الكتروني ينتهي بالاوكسجين، وتبين شجرة التطور السلالي أن
ثلاث مجموعات من اللاهوائيات الاختيارية (تعيش في الهواء واللاهواء) هي
القنصة او القويصة (bacillus) وبكتيريا حامض اللبنيك ، والاشريشياكولي
(Escherishia E. coli=coli) تشعبت من العرقه او الارومة (trunk) في حوالي
نفس أوان ظهور الطحالب الخضرزرقاوية بالتكيف لتواجد الاوكسجين . وفي



هذا التكيف نمت القويصبات جهاز نقل الكتروني قائم على السيوكروم،
بينما طورت بكتيريا حامض اللبنيك جهازا ينتهي بالفلافين flavin = واحد من
مجموعة اصباغ صفراء تقع في بعض المنتجات النباتية او الحيوانية أو تنتج
اصطناعيا). أما الايشريشيا كولي، من جهة أخرى، فتملك سلكين لنقل
الالكترون ينتهيان بالاوكسجين ويعتمدان على مستوى توتر الاوكسجين .
وفي أحوال عالية التشبع بالهواء ينتهي المسلك في السيوكروميسي، انما في
التوترات او الضغوط الاوطأ ينتهي في السيوكرومسي او «دي» . وتوحي
هذه الوقائع للمكونات النهائية اللامتسبة للتنفس الهوائي بأن التكيف
للاوكسجين نشأ على حدة مستقلا في مناسبات عديدة منفصلة.

وما أن ترسخ التنفس الهوائي ودورة كريس (Krebs cycle) للفلكلة
الكلية في عرقه السلالة البروكاريوتية ، حتى أدت الزيادة الكبرى في الطاقة
المتوفرة الى ظهور الخلية اليوكاريوتية الأكبر حجما والاكثر تعقيدا . تتطلب
عملية الانقسام الفتيلي والتشيل الحيوي (biosynthesis) للمركبات الستيرويدية
مجموعة من المركبات تشمل الستيروول sterols ، والحوامض الصفراوية ،
والهرمونات الجنسية المتميزة ببنية حلقة الذرة الكربونية للاستيروول . sterol =
مجموعة من الكحول اللامشعبة الدائرية الصلبة الكوليسترول ، تتواجد في
الانسجة النباتية والحيوانية)، والحوامض الدهنية البولي غير مشبعة
(polyunsaturated) ، وغيرها من المواد المنفردة باليوكاريوت ، تتطلب كلها
الاوكسجين الجزيئي، ونشأت هذه القدرات البيوكيميائية مع تغير البيئة .
وتفيد دايهوف وزملاؤها^(٥) ان الفرع اليوكاريوتي صدر من الجزء
الوسط من الشجرة السلالية التطورية مع نوعين بكتيريين هما البكتيريا
الملحية (Halobacterium salinarium) والمستوعبة الحرارة والحوامض
(Thermoplasma acidophilum) المنبثقة من السلالة المضيفة . وهذه النظرية



مدعمة بتشابه جهاز تمثيل البروتين في البكتيريا الملحية بجهاز اليوكاريوت، وان المستوعبة للحرارة تنقصها الجدران الخلوية انما تملك بروتينات هيستونية او شبه نسيجية لوقاية الدنا فيها، وتتضمن بروتين شبه اكتيني ($\text{actin} =$ نوع من البروتين في العضل) وتستخدم اوكسيداز الفلافين (flavin oxidases) لمؤايضة اوكسجينها . غير ان هذا التفسير ليس مقبولا لدى جميع البيولوجيين^(٦) . اذ، يعتقد كارل ووزه^(٧) من جامعة الينوي ان هذه الانواع اللاعادية أقدم بكثير وتمثل نوعا ثالثا من الحياة ازدهر حين كانت الارض مختلفة كل الاختلاف عما هي عليه اليوم.

استخدم ووزه التسييق الجزيئي ايضا لرسم السلالة التاريخية للبكتيريا ولكنه بنى نتائجها كليا على مقارنة رنا ريبوسومي نوعي . تتألف الريبوسوم من جزيئات الارنا مضفورة بالبروتين ، ونموذجيا تضم الخلية البكتيرية ما بين عشرة الى عشرين (١٠-٢٠) الف ريبوسومة . ولأن الرنا الريبوسومية بقيت دائمة الوظيفة طوال تواجد الحياة فإن تنفا من الجزيئات تغيرت في غاية البطء على مر الدهور وبما يجعل غير محتمل أن يكون السياق السلف المشترك قد اندثر كليا . لا توجد نسخ طبق الاصل لأن التبدلات الطفرة قد غيرت السياق الاصلي انما لا بد انه يوجد باقيا في هذه الجزيئات الضخمة آثار للرنا الريبوسومية الاصلية وجينتها والتي ظلت عائشة عبر الزمن النشوئي . توجد ثلاث رنا ريبوسومية موسومة 16S ، 23S ، 5S في وثيرة ترسبها

في جهاز النبد المركزي الفائق السرعة ultracentrifuge ملاحظة: يشير حرف S

الى عبارة سفيدبرغ وهي مقياس لوثيرة الترسيب في جهاز النبد المركزي الفائق السرعة ، ومقياس غير مباشر للوزن الجزيئي . أما اعداد هذه الرنا من النووتيدات فهي على التوالي (٢٩٠٠)، (١٥٤٠)، و(١٢٠) انما من حيث

التمييز الخاصي ليست الرنأ الريوسومية الصغيرة S₁ مؤشرا دقيقا للنسابة السلالية بقدر ما هو شأن الرنأ الأطول، وبما ان الرنأ الريوسومية (23S) تبدي أحيانا فوارق شاذة في السياق من نوع الى آخر، فقد اتخذت الرنأ الريوسومية (16S) كالنموذج الخاصي .

عندما بدأ ووزه بتقصي الانساب البكتيرية في عام ١٩٦٩ بمقارنة سياقات الرنأ الريوسومية (16S) لم تكن التكنولوجيا المطلوبة لتحديد سياق النووتيد في الجزيئة برمتها ممكنة تكتيكا مثلما هي اليوم . غير انه كان من الممكن تسييق شذفا قصيرة، أو نووتيدات (انصح التعبير "oligonucleotides" اشتمل الاسلوب على وشم الرنأ الريوسومية (16S) من نوع معين بالفوسفور المشع ٣٢ . واستخدام الانزيمه ريونوواز (ribonuclease) لهضم الجزيئة . بعد ذلك جرى تكسير الهضم (digest) بالتقطير التفاصلي الى النووتيدات (oligonucleotides) بطريقة التشريد الكهربائي الورقي الثنائي البعد (two-dimensional paper electrophoresis) ثم جرى تسييق كل نووتيدة ، وأسفرت العملية عن جدول تفصيلي كبير لسباقات المتعضية ، كانت مقارنة جداول من متعضيات مختلفة مماثلا لمقارنة سياقات رنأ الريوسومية (16S) فيها، ويمكن استخدامها في رسم الانساب السلالية التاريخية^(٨) .

يؤدي هضم الرنأ الريوسومية (16S) بالريونوواز (T1 ribonuclease) الى تكسر الجزيئة الى عدد من الشذف مع بعض منها بطول (١٥-٢٠) فضلة . تضمنت النووتيدات البالغ طولها (٦) وحدات أو أكثر ما بين (٥٠٠-٦٠٠) فضلة، او خمسا وثلاثين بالمائة (٣٥٪) من مجموع (١٥٤٠) نووتيدة في الجزيئة . تقريبا دائما ظهرت الاوليجومرات oligo- = قليل، صغير، ناقص) المتضمنة لأكثر من خمس نووتيدات مرة واحدة فقط كسياق في جزيئة رنأ ريوسومية (16S) . وعليه، كلما تضمنت الرنأ الريوسومية 16S . المأخوذة من متعضيات

مختلفة نفس السياق السداسي الوحدة ، كانت احتمالية كونها شبيهة صادقة
تقريبا مؤكدة.

قامت جماعة من جامعة الينوي بجدد خصائص الرنأ الريبوسومية مما
يقرب من مائتي (٢٠٠) نوع من البكتيريا واليوكاريوت . وفي اثناء عزل
البكتيريا بالتعاون مع رالف وولف (Ralph S. Wolfe) من قسم الميكروبيولوجيا
ظهرت علاقة غير متوقعة . اذ لم تقع الميثانوجين ، وهي المتعضيات التي تعيش
في بيئات خالية من الاوكسجين وتولد الميثان بأختزال ثاني اوكسيد الكربون،
لم تقع في المجموعة السلاية مع البكتيريا . كانت هذه نتيجة غير متوقعة .
فالميثانوجين تبدو كالبكتيريا في مظهرها وقد اعتبرت دائما كأفراد في تلك
المجموعة ، لأنها من نفس الحجم ولا تملك غشاء نوويا، والدنأ فيها صغير
مثل نظيره في البكتيريا ، مع ذلك، ابانت مقارنة الرنأ الريبوسومية
ان الميثانوجين لا تمت الى البكتيريا بصلة اوثق منها الى اليوكاريوت .

وأعطى المزيد من التحليلات نفس النتيجة بالنسبة الى صنفين آخرين من
المتعضيات هما المالحيات المتطرفة (extreme halophiles) ومستوعبات او
محبات الحوامض والحرارة (thermoacidophiles) . والمالحيات المتطرفة هي
البكتيريا تتطلب تركيزات عالية من الملح وتنمو بسرعة في الاجاج المشبع ،
وتتواجد على تخوم البحار وفي بحيرة الملح العظمى والبحر الميت ، وتضفي
لونا احمر على احواض تبخير الملح وهي المسؤولة عندما يفسد السمك المملح .

اما الحامض حراريات ، من جهة أخرى، فهي شهيرة بتحملها لدرجات
الحرارة العالية والاحوال الشديدة الحموضة . وهناك جنس منها هو الكبريتي
الفص (sulfolobus) يتواجد في الينابيع الكبريتية الحارة حيث ترتفع الحرارة
فوق تسعين (°٩٠) مئوية وينخفض (يدس PH =) دون (٢) . وقد تم العثور
على جنس آخر منها هو الترموبلازما (Thermoplasma) في الاكوام المضطربة

من نقايات الفحص .

ينبغي أن تنعكس الفوارق السلالية بين هذه المتعضيات والبكتيريا النموذجية في الفوارق البيوكيميائية، وقد وجد أن هذا هو الواقع . من السمات العامة للبكتيريا هو جدارها الخلوي، وهذا يتضمن مشتقا للسكر هو حامض الميوراميك (muramic acid) وهذا هو وحدة قاعدية لبوليمر معقد يسمى بالهضميتيدوغليكان (peptidoglycan) كان معلوما ان اصناف الملحيات والحامض حراريات مستثناة من التعميم، لكن ذلك ربما كان مجرد نزعة مزاجية . فعندما أجريت مقارنة أسلوبية تبين أن جميع الاصناف الثلاثة هذه ، وهي الميثانوجين، والملحيات، والحامض حراريات، لا تتضمن الجدار الخلوي من صنف الميورين (murein) البكتيري النموذجي . انما بدلا من ذلك وجد أن الاصناف الثلاثة تضم عددا من انواع الجدار مختلفة للغاية . فبعضها يتضمن جدران ميورين كاذبة (pseudomurein) الشبيهة بالجدران البكتيرية النموذجية الا انها لا تحتوي على حامض الميوراميك^(٩)، وبعضها له جدران مصنوعة من وحدات البروتين الفرعية^(١٠) (protein submits) ، وبعضها جدرانها مصنوعة من البولي سكاريد^(١١) (poly saccharides)، وبعضها، وهي الميكوبلازما (mycoplasma) لا تملك أية جدران على الاطلاق^(١٢) .

وعند تحليل الاغشية الخلوية للمجموعة وجد أن مركباتها الدهنية (lipids) كانت مختلفة بوجه بارز . تتألف المركبات الدهنية لكل من البكتيريا واليوكاريوت من حوامض أمينية مستقيمة السلاسل مربوطة بجزئته الغليسول (glycerol) من خلال الرابطة الايستري (ester linkage-co-o-) . كما ان المركبات الدهنية للاصناف الثلاثة المذكورة هي ايضا غليسيريدية (glycerides) ولكنها تختلف بأحتوائها على سلسلتين من الهيدروكربون طويلتين مربوطتين بالغليسول برابط أثيري (ether linkage-O-) . أي، بعبارة أخرى، ان المركبات

الدهنية، بدلا من كونها حوامض دهنية ثنائية الايستر (diester) ، هي ثنائية الاثير (diethers) تتألف من الغلسرول وجزيئتين من الكحول فيتانول^(١٣) (phytanol) •

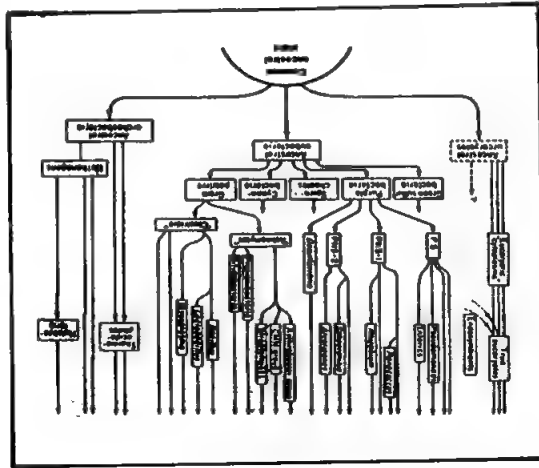
تختلف هذه المجموعة الصغيرة من المتعضيات الشاذة عن اشكال الحياة مميزة واضحة اضافية أخرى. تضم عملية تمثيل البروتينات في جميع المتعضيات مسلسلا قاعديا من جزيئات الرنأ الناقلة التي تحمل حوامض امينية معينة الى الرنأ الرسول للاحاقها بسلسلة الهضيميتيد ، وفي جميع المتعضيات تضم الرنأ الناقلة قاعدة من اليوراسيل (uracil) ممثلة (methylated) لتشكيل الثايمين، ما عدا في الميثانوجين والملحيات المتطرفة والحامض حراريات • ففي هذه المتعضيات الثلاث لم يجر تحويل اليوراسيل الى ثايمين، انما قد تم تحويله لتشكيل اما يوريدين كاذب (pseudouridine) أو الى نووتيدة أخرى لا تزال لم يتم تشخيصها^(١٤).

وأستادا الى هذه النتائج اقترح ووزه (Woese) انه لم يكن يوجد نوعان من الحياة ، وانما في الواقع ثلاثة انواع، وأطلق على النوع الثالث اسم الاركي بكتيريا أو البكتيريا الاركية^(١٥). اذن، اذا كان يوجد في الحقيقة ثلاث ممالك اولية (primary Kingdoms) ، الاركي بكتيريا ، والبكتيريا الحقيقية ، واليوكاريوت ، فإن هذا الامر يثير تساؤلا جديدا ، وهو: في اية مرحلة من النشوء تشعبت أشكال الحياة المختلفة ، وماذا كان سلفها الاصلي المشترك؟

يبدو في منطوق الجداول التفصيلية الريبوسومية ان الاركي بكتيريا والبكتيريا الحقيقية واليوكاريوت تقع على ابعاد متساوية عن بعضها في الزمن النشوءي. وبدلا من ظهور اليوكاريوت عن اتحاد لليوكاريوت يبدو من الممكن أن ربما الاركي بكتيريا أيضا شاركت في الخلق التعايشي الضمني أو الباطني.

يوجد على الاقل جينة سيتوبلازمية يوكاريوتية واحدة تختلف عن الاخريات .
على ما يظهر أن النواة اليوكاريوتية تتضمن ثلاثة انواع من الجينات، التي
لربما هي من المادة الجينية للخلية المضيفة ومن الجينات المستملكة من جنومات
الاورغانيات . غير انه قد وجد الجينة في البروتين أ (A) الريوسومي ليست
من أصل بروكاريوتي وانما من أصل اركي بكتيري (١٦) .

عند استثناء الاركي بكتيريا، تضم البكتيريا كشعب (class) ، بالرغم من
تنوعها الظاهر ، نسبة سلالية وثيقة . توجد ثمانية تقسيمات بكتيرية كبرى
يبدو انها قد تشعبت من بعضها البعض خلال فترة من الزمن قصيرة نسبيا
بحيث انه يصعب معها التثبت من ترتيب تعاقبها بالضبط . مع ذلك، فهي جميعها
تضم نفس الصنف من جدار الخلية، واليتها لتمثيل البروتين قياسية تماما
للبروكاريوت واليوكاريوت على حد سواء .



الشكل ٢/١٢ - مخطط بياني يوضح المنحدرات السلالية الكبرى للبروكاريوت

أما بالنسبة الى الاركي بكتيريا، من جهة أخرى، فإنه بالرغم من ضالة العدد المعروف منها، تشير المقاييسات السلالية العميقة واحصاءات الخصائص الصنفية الى انها تشمل تنويعا لا تقل عن نظيرتها في البكتيريا وحتى أعظم منها. توجد في الاقل اربعة اصناف جدارية كبرى في الاركي بكتيريا وذلك مقابل الصنف الوحيد الموجود بين البكتيريا، وبينما يتألف بوليمراز الرنأ في البكتيريا من بنية ذات وحدات فرعية ثابتة، فإن بنية البوليمراز (polymerase) في الاركي بكتيريا مختلفة^(١٧). وهذا ربما يعني ان الزمن الذي تم فيه الاتصال بين الاركي بكتيريا والبكتيريا من سلف مشترك يطن في العتاقة بحيث انه حتى وظيفة بوليمراز الرنأ كانت لا تزال في مرحلة التطوير والتهذيب.

ان الاركي بكتيريا مرموقة بتطرف البقع البيئية التي تقطنها (environmental niches) • توجد الميثانوجين منتشرة على نطاق واسع ولكنها لا يعثر عليها اعتياديا لأن الاوكسجين يقتلها، ولتلازم فقط الاماكن التي يكثر فيها ثاني اوكسيد الكربون والهيدروجين، ومعنى هذا انها تتواجد في تعاشر وثيق مع البكتيريا الاخرى التي تنتج هذين الغازين مثل الكلوستريديا التي تقوم بمؤايضة المواد العضوية المتفسخة وتطلق الهيدروجين كناتج تلف. وعليه فإن الميثانوجين تتواجد في رواسب المستنقعات السبخة والجداول والبحيرات الغنية بالنباتات المتفسخة حيث تقوم بإنتاج ما يسمى «بالغازات المستتعية الملحية أو التصاعدات الاجامية». كما تتواجد ايضا في المسالك المعوية للحيوانات في العموم وفي كروش السدائم والمجترات الاخرى. ويمكن عزلها من قيعان البحار والينابيع الحارة.

تعيش الملحيات المتطرفة في أحوال قاسية فوق العادة لا تطيقها معظم المتعضيات الأخرى • فهي تزدهر فقط في التركيزات الملحية العالية حيث تضطر الى استدامة مدرج تركيز كبير عبر غشاء خلية لمنع المستوى



الايوني الباطني فيها من التجاوز ولنقل المواد الى الخلية وافرازها منها. تملك المالحيات المتطرفة آلية التمثيل الضوئي بسيطة نسبياً وليست مبنية على اليخضور وانما على صبغة مغطاة بالغشاء تسمى بالرودوبسن البكتيري. Rhodopsin = صبغة بروتينية ارجوانية توجد في عصيات الشبكية تتحول بفعل الضوء وضرورية للرؤية في الاضاءة الضعيفة).

والحامض حراريات ايضا تضطر الى استدامة مدرج واسع عبر غشاء خليتها، ولكنه مدرج (يدس PH:) للحفاظ على (يدس) محايد تقريبا في باطن الخلية اثناء عيشها في سوائل شديدة الحموضة. يتوقف هذا المدرج على درجات الحرارة العالية في ينابيع الكبريت حيث تعيش ، وعند وضع الكبريتية الفص أو السلونولوباس (sulfolobus) في درجة حرارة اوطأ تتوقف عملياتها التايضية عن الاشتغال، مما يؤدي الى عجزها عن الحفاظ على حياديتها الباطنية ، وفي النهاية تموت.

تتبع الاركي بكتيريا الى «شعب» أو أمة من المتعضيات تعيش في احوال قاسية جدا ومحالة بالنسبة الى اشكال الحياة الاخرى، وتعتبر في العموم بأنها تمثل امتدادا للعالم الحي الى هوامش المنطقة الحياتية عن طريق التكيف. غير أن الجواب هو ربما أنها لاجئة من عالم متغير كانت في زمن ما سائدة فيه . أما ووزه (Woese) فيحتاج ان التايض وآلية السيطرة للاعادين في الاركي بكتيريا ربما يعكسان الاحوال التي كانت سائدة زمنا حين كانت الحياة تظهر لأول مرة على أرض شابة (١٨).

محمّد يوسف الدويهي

الفصل الثالث عشر - الطاقويات

كلنا لنا سلالة أسلاف تمتد في خط متواصل يصل الى ما قبل ثلاثة آلاف واربعمئة (٣٤٠٠) مليون سنة خلت. فقد كان في لحظة ما في ذلك الماضي البعيد الى حد اللامعقول أن تجمعت المواد معا على الارض البدائية لتشكل كيانا ملك القدرة على امتصاص الطاقة واستخدامها للنمو وتركيب وحدات متزايدة التعقيد أبداً. وعلى تقيض عالم الجماد الذي يمتص الطاقة لمجرد أن يزداد اختلالاً ، ملكت المنظومات البيولوجية التي تكونت القدرة على توجيه الطاقة الى التنظيم والاتساع المتزايدين . وهذه القدرة التي نرثها من الخلايا الحية الاولى تشكل الصفة المميزة لجميع الكائنات الحية.

تقوم الخلية البيولوجية بتمثيل مقوماتها العضوية (constituents) بمسلسل من التفاعلات البيوكيميائية تحفزها الانزيمات. أما كيف امتلكت الانزيمية على هذه القوى التحفيزية الباهرة فقد بقي سرا دفيناً طوال عقود عديدة، انما لازم هذا السر مشكلة أكثر أهمية وخطورة . فالمنظومة البيولوجية تقوم بتمثيل مكوناتها ببناء جزيئات معقدة من مواد كيميائية بسيطة ، وتنمو وتتكاثر ، وتنتج ليس صنفاً واحداً او اثنين من البيوكيميائيات، وانما حرفياً بالآلاف ، كلها مشتبكة على نحو منتظم للغاية . وهذه جميعها وظائف تحتاج الى طاقة. وبالنسبة فإن الحياة تخلق النظام من الفوضى.

أقرت المفاهيم الاساسية للطاقة في السنوات الاربعينية من القرن التاسع عشر، وذلك بزمان طويل قبل تفهم طرائق العمليات الحياتية . ان القانون الاول في الحركة أو الدينامية الحرارية (thermodynamics) يقربنا من الطاقة، وبالمبدأ القائل بعدم امكانية اقتناء أو فقدان الطاقة ولا المادة ضمن منظومة مغلقة . ويتناول القانون وصف كيفية تدفق الطاقة السائبة أو الطليقة،



بصيغة (ΔG او ديلتا جي) ضمن المنظومة والكون ، والنسق المنتظم على حد سواء، أي الطاقة الكامنة اللامتاحة او الاتروپيا (entropy). تتدفق الطاقة من مناطق التركيزات العالية منها الى المناطق حيث تكون تركيزاتها منخفضة، ومثل الماء، تنزع الطاقة الى الاستواء، كما يشهد على ذلك انسياب الحرارة من الاشياء الحارة الى الأخرى الباردة .

ينطبق هذا الاتجاه لتدفق الطاقة على جميع أحوال الطاقة الباطنية . فالنظام المستحدث بأنشاء ناطحات سحاب أو جزئيات معقدة من توزيع أقل انتظاماً للمادة يمثل تأثيلاً أو استثماراً للطاقة، انما يتعذر الحفاظ باستمرار لا محدود على تركيزات من الطاقة في نظام يقع فوق المستوى العام بدون مواصلة ضخ الطاقة فيه لصد التيار نحو التوازن.

وعليه ، فإن كل عملية لتركيز الطاقة بهدف بناء نظام يعمل ضد تيار الطاقة . مع ذلك، هذا هو تماماً ما تفعله المنظومات البيولوجية . ولرؤية كيفية امكانية هذا بوسعنا أن نعتبر المنظومة البيولوجية بمثابة ظاهرة منحصرة محلياً، أي في مكان تواجدتها فقط، يمكن فهمها على افضل وجه بمقارنة سلوكها بالسلوك المائل للماء . فبالرغم من ان الماء ينزع الى البحث عن مستوى. توجد أمواج ترتفع فوق المستوى الى وضع غير مستقر على حساب الجوف الحاصل بينها والمنحدر نحو الاسفل . وهكذا ايضا تنزع عشوائية الكون للدبلولة الى مستوى مشترك للتوازن الحركي الحراري، لكن الامواج المنتظمة ترتفع فوق مستوى التوازن على حساب الطاقة في المواد الأخرى .

ان العملية الاجمالية لهذا لا تناقض القانون الثاني . فالنباتات، وهي الحواشد الابتدائية للطاقة الشمسية ، تمتص من الشمس طاقة أكثر مما تخزنه كطاقة كيميائية ، بحيث ان مجموع العملية ليس الا سلسلة منحدرة من الاحداث . ثم تقوم الحيوانات باستهلاك النباتات لبناء مكوناتهما، والطاقة



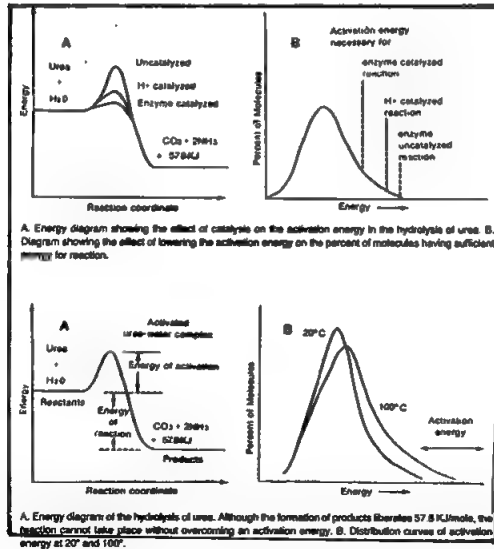
الكيميائية المخترنة في النباتات هي التي تقدم الطاقة الايضية للحيوانات.

وبسبب حواجز الطاقة التي تحد من سير التفاعلات الكيميائية يوجد نطاق ضيق من درجات الحرارة تكون التضاريس الجزيئية الدائمة فيه نوعا ما معقدة. يمكن أن تتكون الجزيئات في أحوال من الطاقة العالية قصيرة الامد وتتجمد في البنى الكيميائية بطاقات كامنة، وبوسع بعض هذه الجزيئات أن تتفاعل كيميائيا لامتناس الطاقة وتوجيهها لرفع الطاقة الباطنية في المكونات والبنية الخلوية الدقيقة المعقدة. وهذه هي القاعدة الفيزيائية التي قامت الحياة عليها، مستخدمة طاقة الشمس لادامة ذاتها.

جميع التفاعلات البيولوجية هي تفاعلات تلقائية. ومعنى هذا هو ان التفاعلات تصاعدية من مستوى التوازن ومدفوعة طاقويا للتحرك نحو التوازن، رغم انها لا تبدي شيئا عن وتيرة التفاعلات. فهي كالصخرة على ناحية الجبل، تنزع هذه التفاعلات البيوكيميائية الى الركود ما لم تنلها الدفعة. وعلى سبيل المثال، يمكن أن يبقى البنزين او السكر في الهواء زمنا لا محدودا تقريبا دون أن تبدر منهما أية علامة للاحتراق بالرغم من أن تأكسدهما عملية تفاعلية طاردة للحرارة. انما لكي يبدأ التفاعل يلزم أن تتقطع أربطة الكربون - الهيدروجين (C-H) الضعيفة قبل أن تتكون الاربطة الكربونية - الاوكسجينية (C-O) والاكسجينية - الهيدروجينية الاقوى. تكون هذه الاربطة الكربونية الهيدروجينية (C-H) مستقرة تماما في درجة حرارة الغرفة. أما اذا لزم حصول التفاعل بسرعة فإنه يتوجب تقديم طاقة كافية، تسمى بطاقة التنشيط (activation energy)، لاثاحة تقطيع الاربطة الكربونية - الهيدروجينية. ومتى ما يتم هذا تصبح الطاقة الناتجة عن التفاعل كافية لامداد العملية بالوقود في تفاعل مسلسل.



تملك التفاعلات التلقائية الطاقة الكامنة لاستمرارها تلقائياً، ولكنها تفعل ذلك فقط اذا أمكن اقتحام حاجز الطاقة المنشطة ، وتقوم الانزيمات بتخفيض هذا الحاجز بتكوين عقدة (complex) وسيطة ووقتية مع العامل المتفاعل على اضعاف الرابط المكون للحاجز. وهذه القدرة لا تجعل من الانزيمات محفزات (catalysts) نوعية للغاية فقط، وانما تجعلها ايضا اكثر فعالية من التحفيز الحامضي أو القاعدي. وبفضل طاقات التنشيط الكائنة في التفاعلات الكيميائية الداخلة في الانشطة الخلوية ، تتمكن الانزيمات من ضبط العمليات الحياتية والتحكم بها بدقة صارمة . واذا لم تكن التفاعلات التلقائية تضم حواجزا للطاقة وكانت تبدأ فوراً ، لكنت الحياة مستحيلة .



الشكل ١/١٣ - رسوم بيانية توضح تفسخ اليوريا •



بالرغم من كل هذا ، ان النشاط الرئيس للمنظومات البيولوجية وأساس النمو والتكاثر هو تمثيل أو تصنيع الجزيئات المعقدة من مركبات صغيرة . وهذه التمثيلات ليست تفاعلات تلقائية، بل تحتاج الى امداد من الطاقة . وهي في الجانب الانحداري من التوازن ، والمنتجات تتضمن طاقة أكثر من المتفاعلات (reactants) . وعليه، فإن هذه ليست التفاعلات التي تنطلق تلقائيا وبالنتيجة يتعذر تنفيذها بواسطة محفز . انما يخال للناظر المستطرق أن ذلك هو ما تفعله المنظومة البيولوجية تماما .

فكيف يمكن هذا، اذن؟

بدأت الطريقة التي تنجز بها الخلية التحويلات الكيميائية تبرز واضحة للدارسين خلال الفترة ما بين عامي ١٩٣٠ و ١٩٤٠ حين تم اكتشاف التفاصيل الكيميائية الخاصة بالتجريد البيوكيميائي للغلوكوز . ادرك البيوكيميائيون أن لابد من وجود اسلوب تستخدمه الخلية في تقبل الطاقة الكيميائية وتحويلها من مركب الى آخر، وقد وجد ان العوامل البيوكيميائية التي تقوم بهذا الدور هي المركبان الفوسفاتيان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP : أتب) وثنائي ADP (أدب) (adenosine di-and tri-phosphate) .

في عام ١٩٤١ اورد فريتز ليمان^(١) (Fritz Lipmann) فكرة الرابط الفوسفاتي العالي الطاقة ، ومعها بدأت الاوساط العلمية تفهم بوضوح دور هذه المركبات في البيوطاقويات (bioenergetics) . ان الاتب مركب ذو طاقة كامنة عالية، وعندما يفقد مجموعة فوسفاتية بالحلمأة لتكوين الأدب والفوسفات اللاعضوي، ، يؤدي ذلك الى تحرير كمية من الطاقة كبيرة لحد ما . في الأحوال القياسية أو الامامية (standard) التي يكون فيها رقم ΔG° (معكوس درجة تركيز الهيدروجين في المحلول PH ودرجة الحرارة خمس وعشرون (٢٥°) مئوية ، يبلغ تغير الطاقة السائبة الامامي، ديلتا جي ΔG° ، في حلمأة الأتب

بمقدار ٣٠٥٠ كج (30.5 KJ) • (ملاحظة : في الواقع ، في الاحوال الخلوية ، يشكل المنغنيز (Mg^{++}) عقدات (complexes) متباينة الانتساب مع الأت ب والأد ب والفوسفات ، وهذا مع عوامل أخرى تؤثر على توازن التفاعل، ينزع الى رفع طاقة الحلمأة للأت ب الى قيمة او رقم أعلى) •

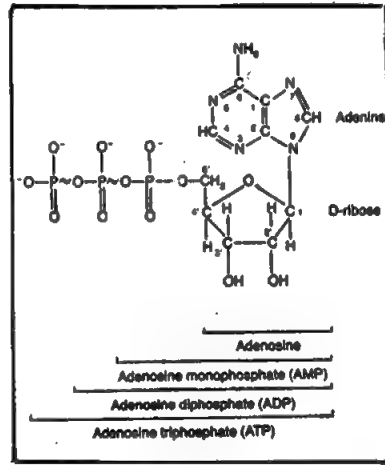


والطاقة السائبة المتغيرة بقدر ΔG هي الطاقة المحركة للتفاعل، مع بث الحرارة في المحيط بنفس الاثناء. يكون رقم أو قيمة تغير الطاقة سالبة (-) عند تحرير الحرارة لأنها تمثل تنقيصا في محتوى الطاقة الكلي. وتبلغ معادلة اطلاق الطاقة $\Delta G = 0$ (ديلتا جي = صفر) عند حلول المنظومة في التوازن في درجة حرارة وضغط ثابتين. يكون التفاعل التلقائي قيمة سالبة لتغير الطاقة السائبة، وكلما ارتفعت القيمة السالبة هذه كلما كانت قوة التفاعل الدافعة أعظم. (ملاحظة: تمثل جي G الرمز لتسارع الجاذبية ، وتشير ديلتا الى الترتيب الذري لعنصر ما بالنسبة الى ذرة كاربون معينة في المركب) •

لذلك، فإذا أرادت خلية انجاز عملية تمثيل يضم الناتج فيها مستوى من الطاقة أعلى منه في التفاعلات أو العوامل المتفاعلة، أي ان التفاعل تصاعدي، فإن التفاعل هذا يتغير الى تفاعل تلقائي بتصنيع مشتق منشط من المتفاعل. يتم هذا بنقل فوسفاته الى المتفاعل من خلال عملية الفسفرة وبواسطة ثلاثي فوسفات الادنوسين (أت ب) • ومن الامثلة على هذا، هي عملية البيوتيمثيل أو التمثيل الحيوي (biosynthesis) للغلوتامين (glutamine) وهو حامض اميني مهم في البروتينات • تستلزم عملية تكوين رابط اميدي (amide bond) مع حامض الغلوتاميك والامونيا طاقة قدرها (١٤٢) كج. من جهة أخرى، يمكن تحويل حامض الغلوتاميك الى انهايدريد مختلط بالتفاعل مع الأت ب في تفاعل تلقائي. فيكون هذا المشتق، فوسفات الغلوتاميل (glutamyl phosphate)



الآن ذا مستوى طاقة أعلى من الغلوتامين بحيث أن التفاعل مع الامونيا لتكوين الغلوتامين يصبح تفاعلا انحداريا ينطلق تلقائيا ، واجمالي حاصل تحويل حامض الغلوتاميك الى غلوتامين ذي طاقة أعلى باستخدام أتب ذي مستوى من الطاقة أعلى بدوره هو (١٦٣ كج) صافية من الطاقة ، وهذه تكفي لدفع التفاعل جيدا لانجاز الناتج.



الشكل ٢/١٣ - بنية مشتقات فوسفات الادنوسين

هذه هي الطريقة الاساسية التي تستخدمها الخلية لتمثيل الروابط الايسترية والهضيميتيدية والجليكوسيدية (ester linkages, peptides bonds, glycosidic couplings) ، وجميعها تفاعلات حرارية باطنية تحتاج الى الطاقة . والطاقة الكيميائية في الرابط الفوسفاتي للأتب، التي تفوق الى حد كبير



الطاقة المضافة الى المنتجات ، هي مصدر الطاقة لجميع عمليات التمثيل هذه.

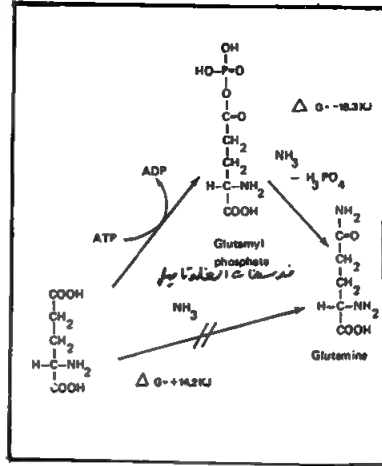
لكي تقوم الخلية بعملياتها التمثيلية العديدة ، تحتاج الى توليد الأت ب باستمرار. تقوم النباتات بآلياتها الضوء تمثيلية باقتاج الأت ب الخاص بها من خلال عملية معقدة مستخدمة طاقة ضوء الشمس الذي تمتصه والذي، بدوره، تستخدمه لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى كربوهيدرات بمثابة طاقة كيميائية مخزنة . كما ان النباتات تتضمن الميتوكوندريا ايضا وهذه تعينها على توليد الأت ب من خلال تجزئة ، أي تحليل، احتياطيهها من الكربوهيدرات.

تبلغ كمية الطاقة في مولة (Mole) من الغلوكوز مقدار (٢٨٧٠ كج) وهي كمية الحرارة المطلقة او المباشرة عند اكسدة الغلوكوز بالاكسجين الى ثاني اوكسيد الكربون والماء. (ملاحظة: يبلغ وزن المولة الواحدة من الغلوكوز (١٨٠) غراما).



والحيوانات التي تستخدم النباتات كطعام لها تستمد حاجتها من هذه الطاقة الكامنة في الأربطة الكيميائية للسكر لتوليد الأت ب الخاص بها ولاستخدام الحرارة للحفاظ على درجة حرارة ابدانها. وهي لا تحتاج الى جميع الطاقة المباشرة كحرارة ، فتخزن قدر ما تستطيع في أربطة كيميائية عالية الطاقة لمركبات كالأت ب لاستخدامها في عملياتها التمثيلية.





حامض الغلوتاميك

الشكل ٣/١٣ - عملية التمثيل الحيوي للغلوتامين

Glycerol 3-phosphate	— 9.2
3-Phosphoglycerate	—10.0
Glucose -phosphate	—13.8
Fructose 6-phosphate	—15.9
Glucose 1-phosphate	—20.9
ATP	—30.5
Acetyl phosphate	—30.5
Phosphocreatine	—43.1
1,3-Diphosphoglycerate	—49.4
Phosphoenolpyruvate	—61.9

(KJ/mole) phosphate transfer
G Direction of

الجدول ١/١٣ - الطاقة السائبة الامام لعملية حلماة المركبات الفوسفاتية



محکم دلائل سے مزین متنوع و منفرد موضوعات پر مشتمل مفت آن لائن مکتبہ

الفصل الرابع عشر – القوة الدافعة

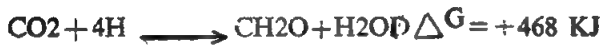
ان المنظومة البيولوجية أكثر من تجميعه من المواد العضوية ، فهي آلية بوسعها أن تتناول الطاقة وتستخدمها لترقية الكيمائيات البسيطة الى تربيّات أكثر تعقيدا . لذلك فإن السر في نجاح اختلاق الحياة يتمثل بالاصل في التقاء والتئام المواد ما قبل الحياتية التي ملكت القدرة على التفاعل معا بتوافق لتسخير الطاقة المتوفرة في بيئتها . كانت جميع الطاقة ، والمستمدة أساسا من الشمس، متواجدة في شكلين اثنين . كانت متواجدة كطاقة كيميائية كامنة في بنية المواد العضوية الناتجة بفعل أشكال الطاقة المختلفة العاملة على الجو، وبشكل ضوء الشمس الذي كان يغمر سطح الارض في كل يوم . وفي النهاية أخذت المتعضيات تستخدم مصدري الطاقة كليهما .

من بين جميع العمليات البيولوجية التي عكف الكيميائيون على دراستها واستجلاء مكنونها قلما ظهرت عملية أكثر ادهاشا واعجابا أو كانت أكثر مقاومة ومراوغة للانفتاح والانكشاف من عملية التمثيل الضوئي . لقد امكن بالتخمين عزل جميع الانزيمات وغيرها من المكونات الداخلة في تجزئة الغلوكوز الى حامض البيروفيك، وتم اخراج كل خطوة مشفوعة بالسلسلات الكاملة للتفاعلات ، في المختبر . أما بالنسبة الى عملية التمثيل الضوئي فقد كان الامر مختلفا ، اذ، عند أخذ مستخرجات من خلايا النبات لغرض تجميع اليخضور وغيره من المكونات ، تفقد هذه المستخرجات قدرتها على القيام بعملية التمثيل الضوئي . وبرأي البيولوجيين، كان هذا بمثابة تحطيم ساعة ومعاينة قطعها للاطلاع على كيفية اشتغالها بدلا من مراقبة الآلة التامة برمتها .

لقد كرس قدر كبير من البحوث لدراسة عملية التمثيل الضوئي التي قد تحقّق الآن تفهم الكثير منها . لما كان الضوء أحد اشكال الطاقة فقد قامت



النباتات ، بالنتيجة ، بتنمية الوسائل البيوكيميائية اللازمة لالتفاف طاقة ضوء الشمس وتحويلها مباشرة الى طاقة كيميائية ، ونجحت في توجيهها لتمثيل ثلاثي فوسفات الادنوسين واختزال ثاني اوكسيد الكربون لانتاج الكربوهيدرات . ولاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى مستوى اختزال السكر يتطلب ما مقداره +٤٦٨ كج/م من ثاني اوكسيد الكربون .



يسير الضوء في موجات من الجسيمات تسمى بالفوتونات (photons) وبدلاً من كون الطاقة متواصلة فانها تقع في عبوات أو رزم تسمى بالكلمات quanta ، مفردها كم : quantum) وتتباين طاقة كل كم عكسياً مع طول الموجة الفوتونية (يرمز الى الموجة الفوتونية) هذه بحرف (لا مبدا اليوناني) . ومعنى هذا هو أن الطاقة في الكم تتضاءل مع ازدياد طول الموجة ، نزولاً من ما فوق البنفسجية الى المرئية الى ما دون الحمراء . في التعبير الرياضي لكم من الضوء يرمز الحرف الصغير (ν) الى التردد أو الذبذبة (frequency) ، والحرف الصغير h الى ثابت بلانك (planck's constant) ، والحرف الصغير (c) الى سرعة الضوء ، والحرف الكبير (E) الى كم الضوء .

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad E_{\text{oc}}/\lambda$$

يستطيع الضوء الاحمر بموجته البالغ طولها (٠.٦٨ ر) ميكرومتر ان يذكي التمثيل الضوئي في النباتات الخضراء بكم ضوء يعادل (١٠×٢٩) ١٣ ارغة=



Erg = • والأرغة هي وحدة الشغل في النظام السنتيمري الغرامي centimetre-gramme system ، وتمثل الشغل الذي تنجزه دايئة (تعريب دايين dyne) واحدة على مسافة سنتيمتر واحد • أما الدايئة فهي وحدة القوة في نفس النظام، وهي القوة التي تحرك غراما واحدا لمسافة سنتيمتر واحد بالثانية • ووزن الغرام الواحد يمثل قوة قدرها (٩٨٠) (دايئة) • وعند تحويل طاقة قدرها (٢٩×١٠^{١٢}) إلى وحدات من التفاعلات الكيميائية فانها تناهز ما يعادل (١٦٧ كج/م) • وهذا يعني ان اختزال مولة واحدة من ثاني أوكسيد الكربون يتطلب على الاقل ثلاثة (٣) كمات من الضوء، انما تطبيقيا يبدو انها تستلزم حوالي عشرة (١٠) كم •

في العموم، تسخن الاشياء القائمة والمملونة عند امتصاصها للضوء، وذلك لقيامها بتحويل الطاقة الى حرارة. لكن، مثلما قد تمكنت المنظومات البيولوجية من استنباط الوسائل لاستمداد الطاقة من أكسدة المواد العضوية فانها قد نجحت ايضا في تصريف جزء من طاقة الضوء قبل ضياعها كحرارة •

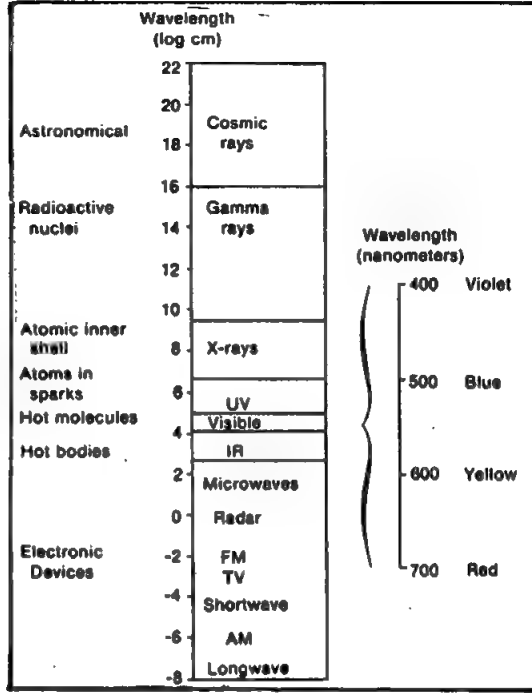
ان الفوتونات القصيرة الموجة ، كما بالنسبة الى الضوء ما فوق البنفسجي، تكون عالية الطاقة ، ولذلك فهي مدمرة للعديد من المركبات العضوية بتحطيم أربطتها المشتركة • أما، من جهة أخرى، اذا كانت طويلة الموجة للغاية ، فستكون منخفضة الطاقة وتكون ذبذبتها واطئة للغاية فيتعذر امتصاصها • ان الطاقة المتمثلة بشكل الموج، كما في الضوء، تنتقل فقط الى الاشياء المهتزة بنفس ذبذبتها • والالكترونات، كجميع المادة في حالة الحركة، تنتقل في نمط موجي ذي ذبذبة معينة تعتمد على الكتلة والسرعة • ان ذبذبات أغلب الالكترونات الدائرة حول الذرات قصيرة للغاية ، بحدود الاشعة السينية، انما يمكن في الجزيئات ذوات الاربطة المتناوبة فردا وزوجا أن تكون الالكترونات المترددة على طول المسلسل طويلة الموجات • وهذه المركبات هي

مواد عضوية ملونة ، تمتص الضوء الازرق أو الاحمر أو الاصفر وتعكس اللون المتمم .

ليست مدارات الالكترونات ثابتة وانما تنقسم الى وحدات فرعية أو مسارات (مدار = orbit ، مسار = orbital) تمثل مدى من مستويات الطاقة ضمن المدار . وعليه ، عندما تمتص الجزيئة كمّاً من الضوء تنتقل الطاقة الى الكترونة (electron) يتم رفعها الى مسار ذي مستوى أعلى من الطاقة . وفي هذه النقطة يقال لها بأنها في حالة اثارة أو تهيج (excited state) . غير ان حالات التهيج هي تضاريس غير مستقرة ولا تلبث الالكترونة ان تعود الى المستوى الاوطأ ، أو حالة الهمود (ground state) ، مستغنية عن الطاقة ببث الضوء (التلصف) (emission of light-fluorescence) أو بواسطة التصادمات (collisions) ، ومولدة الحرارة .

لتسخير الطاقة لانجاز شغل يجب الحيلولة دون تبددها كحرارة أو كضوء وصبا في شكل يمكن استخدامه ، وهذا بالنسبة الى المنظومات البيولوجية يعني تحويلها الى طاقة كيميائية . عند ضخ ما يكفي من الطاقة في الالكترونات يمكن في الغالب استحثاثها لترك مدار الجزيئة المتهيجة والانتقال الى مادة متقبلة ، وأنداك يصبح هذا بالتفاعل الكيميائي التأكسدي الاختزالي يقوم عامل الاكسدة أو المؤكسد (oxidant) فيه بتقبل الكترونيات من مورد donor ويختزل به . وهذا هو المنبع أو الباعث الاصلي لعملية التمثيل الضوئي والطريقة التي يتم بها تحويل (conversion) ضوء الشمس مباشرة الى طاقة كيميائية .





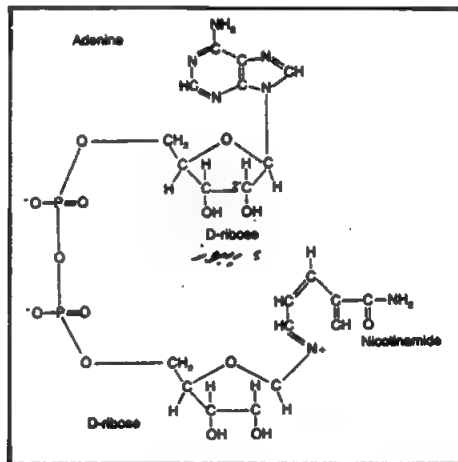
الشكل ١/١٤ - الطيف الكهرومغناطيسي

تحتوي النباتات على عدد من الصبغات كالجزيئات (carotenes) وشبه الجزيئات (carotenoids) (تعطي اللون الاصفر - البرتقالي الذي في الجزر) تقوم بامتصاص الضوء، ولو ان اليخضور هي الجزيئات الرئيسة التي تمتص الضوء في النباتات الخضراء. وعندما اليخضور كماً من ضوء الشمس تعود الطاقة في اليخضور المنشط الممتليء بها الى التبدد بسرعة من خلال التلصق ان لم يتم نقل الالكترونات الى حالة أكثر استقراراً.

في عام ١٩٣٧ وقف روبرت هيل^(١) (Robert Hill) من جامعة كمبرج على اكتشاف أفضل الى تشخيص عدد من حاملات الالكترون (carriers) وظيفتها نقل الالكترونات من اليخضور المتهيج. وجد هيل أن عند وضع أو

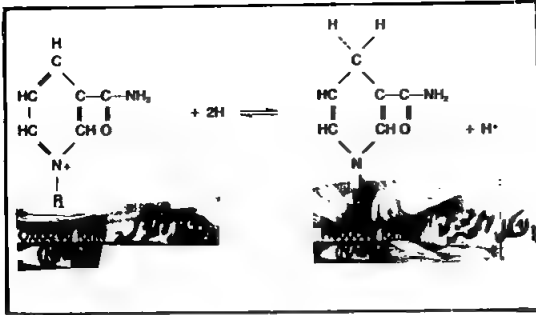
ان شدة النيكوتيناميد في الجزيئة هي التي يمكنها تقبل أو اخذ واعطاء الالكترونات . ومثلما ان ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP) هو حامل للفوسفات، فكذلك ايضا ان ثنائي نووتيد النيكوتيناميد (NAD) ومشتقه المُفسفر (NADP) هما حاملان للالكترونات. اما في الانسان والفقرات الاخرى فيتوجب توريد الجزء النيكوتيناميدي من المركب من خلال الغذاء بشكل نياسين (Niacin) وهو احد فيتامينات المجموعة ب (B vitamins) .

بالرغم من ان (NAD) و (NADP) متشابهان في التركيبة الكيميائية ، فان كلا منهما يلعب دورا مختلفا عن دور الآخر. يتقبل (NAD) الالكترونات الموجهة الى الاوكسجين في التنفس . بينما يقوم NADP بتوجيه الكتروناته لاختزال المركبات العضوية ، وعليه فان (NADP) اسرع في اختزال ثاني اوكسيد الكربون الى سكر.



الشكل ٣/١٤ - ثنائي نووتيد ادنين النيكوتيناميد NAD . اما فوسفات ثنائي نووتيد ادنين النيكوتيناميد NADP فيتضمن مجموعة فوسفاتية ملحقة في ٢-هايدروكسيل الريبوز (2-hydroxyl of ribose) بجانب حلقة الادنين .



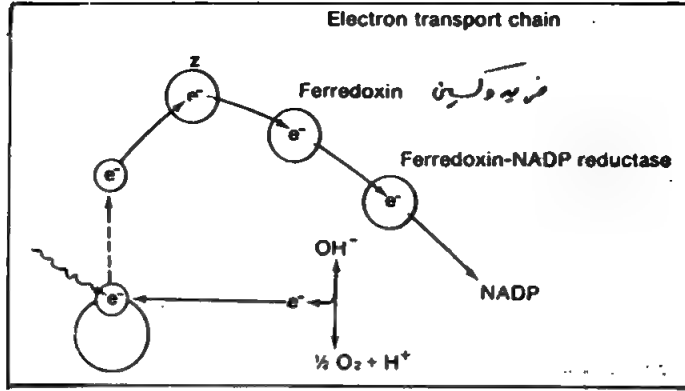


لا يتقبل NADP الالكترونات من اليخضور المنشط مباشرة ، وانما يتم نقل الالكترونة في مسلسل من مركبات اختصاصية ، وهنا في هذه النقطة يصبح الفريدوكسين ، وهو بروتين الحديد - الكبريتيد الذي ربما كان أول بروتين تستخدمه الخلايا الحية ، لأنه ذو أهمية ملحوظة. عندما تنتشط الكترونة في جزيئة اليخضور تقوم بترك هذا المركب وترحل الى جزيئة يخضور أخرى موسومة (P700) ، وتقوم (Z) ، وهي متقبلة الكترونات قوية ، بسحب الالكترونة المنشطة من (P700) . بعد ذلك تقوم (Z) بترحيل الالكترونة الى الفريدوكسين الذي يجري اختزال حديده من ثلاثي الى ثنائي التكافؤ (from Fe^{+++} to Fe^{++}) في العملية . ومن الفريدوكسين يجري ترحيل الالكترونة الى حاملة الكترون ، ريدكتاز - اوكسيد و NADP

فريدوكسين الى NADPox حيث تتحول الى NADPred (ferredoxin-NADP oxido-reductase to NADPox,) NADPred converting it to NADP red.)

وفيما يتخلى الفريدوكسين عن الالكترونة يعود يجري اكسدة حديده الثنائي الى الثلاثي التكافؤ (from Fe^{++} back to Fe^{+++}) . وهكذا يحصل تدفق ضوئي الاستحاث للالكترونات من اليخضور الى NADP الى أن يتم اختزال جميع ال NADP .





الشكل ١٤/٤ - تستخدم الإلكترونات العالية الطاقة من اليخضور المنشط
NADPox إلى NADPred (energised) لاختزال

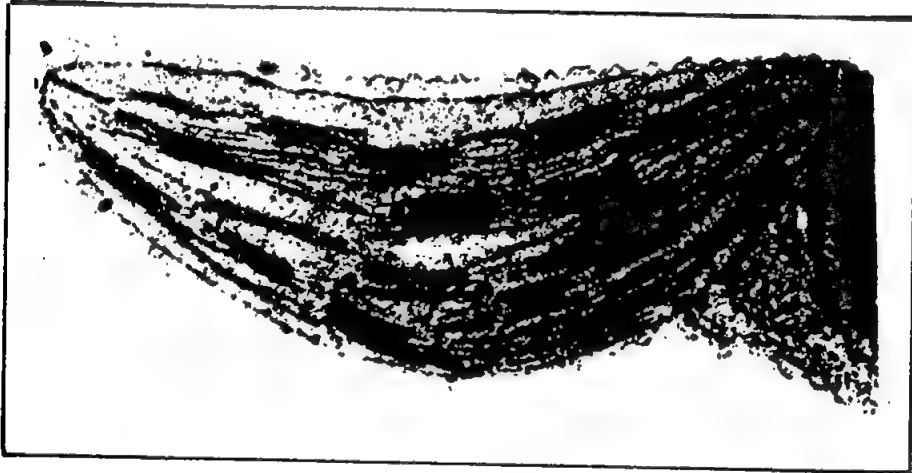
وما أن يتم اختزال NAD إلى NADP حتى تكتمل الزردة (link)

من امتصاص ضوء الشمس الى التمثيل الضوئي، وأنذاك يتسنى لهذه الانزيمات المساعدة المختزلة أن تشارك في عمليات التحويل الكيميائي المختلفة بما فيها عمليات الكربكسجة (carboxylations) التي تقف نووتيدات البيريميدين المختزلة.

كان يفترض في العموم ان المتعضيات الضوء تمثيلية تستحصل جميع الأت ب ATP الذي تحتاجه من تجزئة الغلوكوز، مما ينم عن ان الغلكلة أو غيرها من عمليات التجربة المماثلة كانت قد سبقت عملية التمثيل الحيوي للأتب في نشأة الحياة . انما في عام ١٩٥٤ اكتشف كل من دانيال ارنون (Daniel Arnon)، وميري بيل آلن (Mary Belle Allen)، وفريدريك ويتلي (Frederick Whately) ما سمي بعملية الفسفرة الضوئية (photophosphorylation) لاحظ هؤلاء ان الجبيلات اليخضورية ، بدون معونة من الجسيمات (particles) الخلوية الاخرى، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون وعلى التحويل المباشر لطاقة الضوء الى أت ب.



هذه هي العملية الأيسر، وربما الأصلية ، لتسخير طاقة الشمس المشعة
 لإنتاج الأت ب . كانت عملية تكوين الأت ب تتم في
 معزل تام عن أوسطة (ج وسط substrates المواد العضوية او الاوكسجين .
 وعندما جرى اضاءة الجبيلات اليخضورية المعزولة في حضور الأت ب ADP
 والفوسفات اللاعضوي، تكون الأت ب بوتيرة عالية ، وكلما طالت فترة
 اضاءة الجبيلات كلما تعاظم مقدار الأت ب المتكون .



الشكل ١٤/٥ - جبيلة يخضور الطماسة منقورة من خلال مجهر الكتروني .
 الاقسام المعززة هي الحويصلات الرقائقية مع الاغشية التي
 تقوم حواجز العزل الجوهرية لعملية التمثيل الضوئي . الصورة
 مكبرة (٣٢٠٠٠) مرة .

لا تمس الحاجة الى مورد الكترونيات خارجي في عملية الفسفرة الضوئية. ينشأ تولد الأت ب من تدفق الالكترونات دائريا (cyclic) من اليخضور المتهيج إلى الفريدوكسين، ثم من خلال آلية انزيمية ، ورجوعا مرة أخرى الى اليخضور بسلسلة من الحاملات ، ولكي تتم هذه العملية يقتضي فصل مورد الالكترون الاول او عزله عن متقبل الالكترون الاخير، والا فتختل دورة تدفق الالكترون. ينشأ هذا الفصل بفعل الحاجز العازل الموجود في الغشاء الدهني، وهذا هو سبب عدم حصول عملية التمثيل الضوئي في السوائل المعزولة ، على نقيض المستخرج للفلكلة اللاهوائية ، والتكاملية (أي عدم تجزئية: integrity) البنيوية ضرورة مطلقة لعملية الفسفرة الضوئية ، وكانت الحياة لتستحيل لولا الخواص الفريدة للغشاء الدهني.

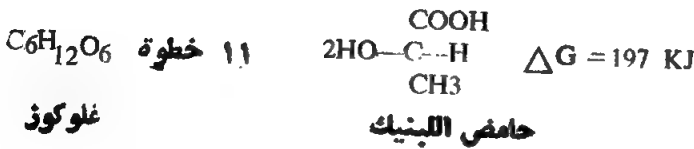
تتمكن المتعضيات الضوء تمثيلية من توليد الأت ب بالتفاف واستخدام طاقة ضوء الشمس مباشرة . ولا يستبعد ان كانت هذه الطريقة الابتدائية التي استخدمتها الخلايا البدائية لانتاج ما تحتاجه من الأت ب. غير أن تجريد الغلوكوز ايضا يرجع الى أصل اولي وهي مثال البساطة . في عملية التمثيل الضوئي تقوم المتعضيات بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كيميائية ببناء مركبات عضوية ذات مستوى أعلى للطاقة. وفي عملية الفلكلة تتناول المتعضيات الغلوكوز المتضمن لتلك الطاقة الكيميائية وتجريده الى مشتقات ذات طاقة أخفض، مستخدمة فارق الطاقة لانتاج الأت ب ودفع خطوات التفاعل .

عندما وجد بوخنر في عام ١٨٩٧ أن بوسع المكونات الكيميائية من الخميرة تجزئة الغلوكوز الى ايثانول وثاني اوكسيد الكربون خارج بنية الخلية ، اكتشف الطريقة الاصلية للمنظومات البيولوجية لاستخراج الطاقة الكيميائية من المركبات العضوية . آنذاك ظن بوخنر ان التخمر كان تفاعلا



كيميائيا مفردا تحفزه انزيمه اسمها زيماز (Zymase) ، لكن عندما تم حل آلية التحويل برمتها في الأخير، تبين ان تجزئة الغلوكوز تألفت من أحد عشر تفاعلا منفصلا، كل منها محفز بأنزيمه نوعية . وهذا هو مسلك ايمبدن - مايرهوف ، موسوما باسمي البيوكيميائيين الالمانيين اللذين قاما بافتراض ورسم الخطوات الحرجة للمسلسل اثناء أواخر العشرينيات وأوائل الثلاثينيات من هذه القرن.

تخمير خميرة صانع البيرة (Brewer) الغلوكوز الى ايثانول وثاني اوكسيد الكربون، لكن تقوم بكتيريا مختلفة بتوليد الاسيتون والبيوتانول وحامض الخليك والايثانول كمنتجاتها النهائية للتخمير . غير ان التجزئة الرئيسة هي التجريد اللاهوائي للغلوكوز الى حامضي البيروفيك واللبنيك . تمثل هذه التجريد الابتدائي للغلوكوز الذي يتواجد في جميع الكائنات الحية ، والموروث من اللاهوائيات البدائية التي كانت أول اشكال الحياة على الارض . وقد جرى تمديد سياق التفاعل اثناء النشوء والتطور من قبل متعضيات مختلفة للحصول على منتجات متنوعة . في الحيوانات، تباقي المسلك اللاهوائي في تقلص العضل حيث يظهر حامضا البيروفيك واللبنيك بمثابة منتجات نهائية اولية قبل ادخال الاوكسجين للمزيد من اكسدة ثاني اوكسيد الكربون والماء .

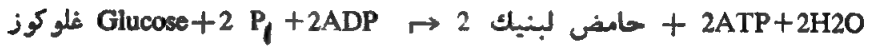


كما اكتشف بوخزر، تبدأ جميع عملية التخمير برمتها بمجرد جعل جميع المتفاعلات معا في السائل . وبما انه تبين ان المسلسل يتألف من تفاعلات منفصلة مع امكان اقامة كل منها منفصلا في المختبر ، تأتي منتجات كل خطوة

بمشاركة التفاعلات أو الوسط لانزيمية التفاعل اللاحق. وعليه، مع جميع المكونات متواجدة، تتواصل عملية تجزئة الغلوكوز بلا انقطاع عبر كل خطوة حتى المنتج الختامي.

لانجاز عملية الفلكلة تجري فسفرة الغلوكوز مع الأتب بحيث يتم اثناء التجزئة انتاج مشتقين اثنين بمستوى طاقة اعلى من الأتب. وبالتالي يتمكن هذان المشتقان العاليان الطاقة من توليد الأتب بترحيل مجموعة فوسفاتهما الى الأدب (ADP). واجمالي النتيجة في عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك هي ان جزيئين من لأتب اللتين استخدمتا لفسفرة الغلوكوز تؤديان

الى تكون اربعة أتب من الأدب لحصيلة صافية من اثنين أتب. يجري اثناء العملية اختزال NADox (ناد مؤكسد) الى NADred (ناد مختزل)، انما يعاد توليده في النهاية عندما يقو م بتحويل حامض البيروفيك الى حامض اللبنيك. وتصبح المعادلة الاجمالية لمجموع التفاعلات:



عندما تجري تجزئة الغلوكوز بخطوات لاستدرار الطاقة الكيميائية لاتتاج الأتب، يوجد تفاعل كيميائي واحد يعمل بمثابة المفتاح الى نقل الطاقة. وهذا التفاعل هو اكسدة الغليسريد هايد ٣ - فوسفات بواسطة NADox (glyceraldehyde 3-phosphate) مع الفسفرة المتزامنة لرفع الوسط (intermediate) الى ١,٣-دايفوسفوغليسرات (1,3-diphosphoglycerate) وهو مشتق فوسفاتي ذو طاقة عالية طاقته أعلى من الأتب. في التفاعل الختامي للمسالك يعاد توليد NADox في عملية اختزال حامض البيروفيك الى حامض اللبنيك بواسطة NADred، متمما بذلك دورة تفاعل الاكسدة - الاختزال، وكان عند هذه الخطوة من الاكسدة بواسطة NADox ان تم



استرجاع بعض الطاقة المضمنة في الغلوكوز بفعل اختزال ثاني اوكسيد الكربون في عملية الفسفرة ، وذلك بتفاعل عكسي للاكسدة .

ما هو اذن اساس عملية الاكسدة - الاختزال الذي يجعلها تلعب هذا الدور المركزي في الطاقويات الحيوية؟

ان الاوكسجين هو العنصر الاكثر كهروسلبية (electronegative) في الوجود باستثناء الفلورين، اما الهيدروجين فهو عنصر كهروموجب (electropositive) . وهذا التناقض الكهروكيميائي بين العنصر الاوكسجين والهيدروجين يجعل التفاعل بينهما من اشد التفاعلات الكيميائية والرابط $O-H$ من أقوى الاربطة . يصطبج التفاعل التأكسدي، المتسم عادة باضافة الاوكسجين، باختزال مزامن للاوكسجين ، بينما الهيدروجين هو العامل المختزل في عملية تكوين الماء . وبعبارة أعم، ان العامل المختزل هو الشيء الذي تجري أكسدته . ولما كانت ذرة الهيدروجين تتألف من الكترونة واحدة وبروتونة واحدة (H^+) فان اضافة الكترونة اليه تؤدي الى الاختزال وازالتها منه تؤدي الى الاكسدة .

تستخدم النباتات طاقة الضوء الشمسي في عملية التمثيل الضوئي لاختزال ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز بشحنة قدرها (٢٨٨٠) كج/م من الغلوكوز، فيكون هذا خزين الطاقة الكيميائية الذي تستمد المتعضيات منه طاقتها لانتاج الأت ب . يلزم لتحرير (٢٨٧٠) كج اكسدة الغلوكوز كلياً بالاوكسجين لاعادته الى ثاني اوكسيد الكربون والماء . لكن البروكاريوت الاركية كانت عاجزة عن القيام بمثل هذه العملية مع ضالة أو انعدام الاوكسجين في بيئتها .

مع ذلك يمكن سحب بعض الطاقة لأن بإمكان الذرات أن توجد



في حالات مختلفة من الأكسدة بحسب تركيبة المركب . بالنسبة الى الكربون يؤلف ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) الحالة التامة للتأكسد والميثان (CH_4) الحالة التامة للاختزال . وجميع مركبات الكربون الاخرى تمثل مستويات وسيطة من الأكسدة . يؤدي تحويل مركب الى آخر مع قلة اختزال الكربون الى الأكسدة ويسفر هذا عن تحرير فارق الطاقة السائبة بين المركبين . وبناء على هذا عند تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك بواسطة المسالك اللاهوائي تؤدي الأكسدة الى تحرير (١٩٧) كج من مجموع (٢٨٧٠) كج في كل مولة من الغلوكوز، وفي اثناء العملية يتم انتاج جزيئين من الأت ب من واحدة الغلوكوز، تحتوي كل منها على طاقة قدرها (٣٠٥) كج . لذلك فان المسلك يلتقف ما مجموعه (٦١) كج من (١٩٧) كج من الطاقة ، ويستخدم الباقي وقدره (١٣٦٥) كج كالقوة الدافعة لتأمين اتمام التفاعلات . فمن مجموع (٢٨٧٠) كج في بنية الغلوكوز تمكنت المتعضيات اللاهوائية من استخراج أو استرداد (٦١) كج فقط أي ما يبلغ حوالي اثنين بالمائة (٢/١٠٠) .

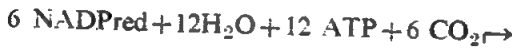
وفرت التجزئة اللاهوائية للغلوكوز الى حامض البيروفيك مصدرا ممكنا من الطاقة الكيميائية يعول عليه في انتاج الأت ب، الا انه ثبت في الأخير ان مورد الكربوهيدرات اللاحوية قابل للنضوب، فقامت المتعضيات بتنمية مسلسل من التفاعلات لعكس العملية وتمثيل الغلوكوز من حامض البيروفيك، توجد سبع خطوات قابلة للعكس في عملية الفلكلة ، اما الثلاث الأخرى فيتم تفاديها او تجاوزها في التحويلات الانزيمية التحفيز التي تصبح تلقائية في اتجاه عملية التمثيل بفعل شحنة من ستة اربطة فوسفاتية عالية الطاقة ، أربعة منها من الأت ب واثنان من الج ت ب ($guanosine\ triphosphate = GTP$ = ثلاثي فوسفات الغوانوسين) .

ومثلما استتبطت المنظومات البيولوجية الوسائل لاستعمال الأت ب لاعادة بناء مخازينها من الغلوكوز، فأنها كذلك تستخدم ثاني اوكسيد الكربون



كمصدرها من الكربون لتمثيل الغلوكوز. كانت المتعضيات الاولى تملك القدرة على استمداد الأت ب بعملية الفسفرة بتسخير طاقة ضوء الشمس واستعمال الأت ب كعامل تنشيط (activator) وتمكنت من تجريد الغلوكوز وغيره من المركبات العضوية للاستقاء من طاقتها الكيميائية الكامنة . كان الغلوكوز خزيناً من الطاقة الكيميائية وكان بالامكان اعادة بنائه من حامض البيروفيك بشحنة من الأت ب. انما لمواصلة نموها دعت حاجة المنظومات البيولوجية الى الاستمداد من مورد للكربون والتتروجين عندما نضبت المركبات العضوية التي كانت متوفرة ، ووجدت في الواقع خزيناً لا ينضب من العنصرين في الجو.

كان ثاني اوكسيد الكربون في الجو جاهز المنال ولكنه كيميائياً كان تام الاكسدة مما استلزم اختزاله جزئياً قبل امكان استيعابه كمادة عضوية. ولانجاز هذا استبقت المتعضيات الضوء تمثيلية وسيلة لتثبيت ثاني اوكسيد الكربون باستخدام قدرة التمثيل الضوئي الاختزالية . استخدمت NADP_{red} كعامل اختزال وأت ب لتوريد القوة الدافعة ، وتمت تسمية مسلك من التفاعلات التلقائية لدمج ثاني اوكسيد الكربون بالمركبات العضوية:



بنفس الوقت تنتج القدرة الاختزالية للتمثيل الضوئي المستخدمة لتحويل ثاني اوكسيد الكربون الى غلوكوز قدرة كامنة مؤكسدة بالغة الشدة (عامل مؤكسد) تستخرج الهيدروجين من مورد خارجي، ولا بد ان اشكال الحياة الأولى بآليتها للتمثيل الضوئي الاقل تطوراً منها في الطحالب الخضراءرقاوية المحررة للاوكسجين كانت تستخرج ما تحتاجه من الهيدروجين



من المصادر المتوفرة التي استلزمت أقل قدر من الطاقة لادرار محتوياتها من الهيدروجين • يجوز أن يكون المصدر الخارجي للالكترونات عضويا ولا عضويا. وعندما يكون المورد ايسوبروبانول هو المورد يجري فيما بعد أكسدته الى اسيتون ، وبنفس الطريقة يتحول السكسينات (succinate) الى فيوماترات (fumarate) • والكبريتيد (sulfides) هي مورد الالكترون اللاعضوي الذي تستخدمه بعض البكتيريا.

وفي النهاية كان الماء المادة التي لم تستخدمها البكتيريا قط والتي اصبحت فيما بعد مصدر الالكترون للطحالب الخضزرقاوية ولجميع الحياة النباتية.



ان استخراج الهيدروجين من الماء يتطلب عشرة أضعاف الطاقة المستخدمة في استخراجه من كبريتيد الهيدروجين، انما اما بسبب نضوب مورد المصادر الأولية او ربما نظرا الى محض غزارة الماء، نشأت متعضيات ضوء تمثيلية تملك القدرة على استخراج الهيدروجين من الاوكسجين في جزيئات الماء. وأصبح هذا حدثا خطيرا في نشأة الحياة على الارض لأنه أسفر عن تفرغ الاوكسجين كمنتوج جانبي في البيئة.

كان اسلاق الاوكسجين في الجو هو الذي أدى في الاخير الى تطوير الوسيلة الثالثة لاتاج الأت.ب. كانت جميع المنظومات البيولوجية تملك القدرة على تجريد الغلوكوز الى حامض البيروفيك بالمسلك اللاهوائي لاستخراج بعض الطاقة الكيميائية . لكن أغلب الطاقة بقيت في بنية حامض البيروفيك، واستنبطت بعض الخمائر والبكتيريا طرائقا لتحويل حامض البيروفيك الى مركبات عضوية أخرى. غير ان نسبة كبيرة منه اصبحت اسيتيل الانزيم المساعدة أ (acetyl coenzyme A) التي استخدمت لتمثيل الدهون والمكونات الأخرى. وطالما بقيت البيئة خالية من الاوكسجين لم



تتواجد الوسائل لأكسدة حامض البيروفيك أكثر من ذلك لاستخراج الخزين العظيم من الطاقة الذي كان ما يزال كامنا في أربطته الكيميائية.

ثم خلال الفترة بين ما قبل الف وثمانمائة (١٨٠٠) مليون وستمائة (٦٠٠) مليون سنة خلت استمر الاوكسجين المتحرر من الماء بواسطة المتعضيات الضوء تمثيلية في أكسدة نطاقي الارض المائي والجوي الى ان بدأت البيئة بمراكمة الاوكسجين الطليق او السائب . خلال فترة الالف ومائتي (١٢٠٠) مليون سنة المذكورة استتبعت بعض المتعضيات المجهرية انزيمات ومكونات أخرى اصبحت مسلسلا من التفاعلات للأكسدة الكلية لحامض البيروفيك، ولا بد أن الجهاز الجيني استغرق زمنا طويلا للغاية عبر اجيال لا تحصى لاستنباط المسلك المتطور ، لكن الفائدة الانتقائية لكمية الطاقة المكتسبة كانت مذهلة.

نرى اليوم التجزئة الهوائية لحامض البيروفيك بحالتها الأكثر تطورا لكننا لا نعلم غير القليل عن المراحل المختلفة التي مرت من خلالها في عملية تطورها. في الاقل كانت بعض التفاعلات متواجدة مسبقا كتفاعلات جانبية للتخمر لتوفير الحوامض الامينية. وعلى ما يظهر تم تحويل وتمديد هذه بالمائة (١/١) من مستواه اليوم، فلربما انها كانت قد سبقتها فترة طويلة من التطور. لقد انحدر المسلك في النباتات والحيوانات من خلال الميتوكوندريا، وهي الجسيمات الخلوية الفرعية السجقية الشكل التي تقوم بإمداد الأت ب في جميع الخلايا اليوكاريوتية.

لم يتم اكتشاف الكيمياء التفصيلية للتنفس حتى أواخر الثلاثينات من هذا القرن عندما قام هانز كريس (٣) (Hans Krebs) بتتضيد مسلسل من التفاعلات الانزيمية تتضمن الحوامض الثلاثية الكربوكسيليك المستخدمة لأكسدة حامض البيروفيك الى ثاني (tricarboxylic acids)



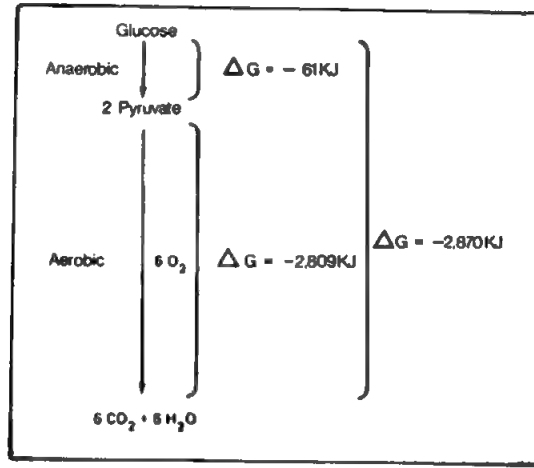
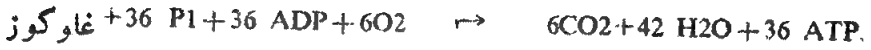
او اكسيد الكربون والماء. اثناء السياق تدخل اسيتيل الانزيم المساعدة أ
من عملية نزع كربكسلة (decarboxylation) حامض البيروفيك المؤكسدة في
ميتوكوندريونة حيث تقترن مجموعة الخلايا بحامض الاوكسالوخليك
(oxalo acetic acid) لتشكيل مركب حامض السيتريك السداسي الكربون .
في التفاعلات السبعة التالية يتم تجريد حامض السيتريك (citric acid)
واعادته الى حامض الاوكسالوخليك بطريقة تتم بها اكسدة وحدة اسيتيل
ثنائية الكربون الى جزئيتين من ثاني اوكسيد الكربون بالاوكسجين الجزئي.
في هذا المسلسل يجري على الدوام استهلاك واعادة توليد حوامض ثنائي
وثلاثي الكربوكسيليك المتضمنة اربعا وخمسا وستا من ذرات الكربون
(carbons) في العملية الدائرية . وبالنتيجة بوسع جزيئة مفردة من حامض
الاوكسالوخليك انجاز اكسدة عدد لا حصر له من مجموعات الاسيتيل بفعل
تكرار تولدها في نهاية كل دورة.

تمثل شبكية الغشاء (membrane complex) في الميتوكوندريا ، حيث يتم تجريد حامض البيروفيك. بنية من أكثر البنى واشدها تعقيدا التي استنبطتها المنظومات البيولوجية ابداء ما تزال الآليات الجزيئية لاستحالات (transformations) الطاقة التنفسية (respiratory energy) غير مستوضحة بتمامها، انما يظهر ان الميتوكوندريا تملك القدرة على اللجوء اليها لتمثيل الأت ب، والقيام بعملية الهدرجة الاجتيازية أو الخالية (transhydrogenation) هدرجة الايسومرات في الجانب الآخر، ونقل الايونات ، وغير ذلك من العمليات الجوهرية بطريقة بالغة التنسيق. انما ما هو معروف هو ان البنية والوظيفة (structure and function) متشابكتان على نحو مستعلق تقوم فيها شبيكات الانزيمات بأكسدة حامض البيروفيك والحوامض الدهنية بباطن الغشاء الميتوكوندري.

لابد ان الفائدة الانتقائية المتوخاة كانت عظيمة ليتسنى نشوء شيء بالغ في التعقيد للغاية مثل الميتوكوندريون ، من السهل رؤية ما الذي كسبه الميتوكوندريا عند فحص عودة الطاقة في التنفس . جميع المتعضيات تتضمن المسلك اللاهوائي للعلكلة ، موروثا من اسلافنا البروكاريوتيين المشتركين، انما اليوكاريوت ببيتوكوندرياتها مددت تجزئة الغلوكوز بأكسدة حامض البيروفيك كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء.

طالما كانت المنظومات البيولوجية مقتصرة على التجزئة اللاهوائية للغلوكوز ظلت تستمد فقط جزئيتين من الأت ب لكل جزيئة من الغلوكوز، وكان هذا حصيلة من الطاقة تبلغ فقط (٦١) كج من مجموع الكمية الكامنة البالغة (٢٨٧٠) كج المحتبسة في البنية الكيميائية . وقد اتاح تغير جوالارض الى حالة متأكسدة ذات الاوكسجين الطليق تجريد الغلوكوز في التنفس لغرض الاعتراف من الخزين الكامن غير المستطرق. وعند كتابة المعادلة الشاملة

لاكسدة الفلوكوز التامة الى ثاني اوكسيد الكربون والماء من قبل المتعضيات الهوائية تصبح هذه كالاتي:



الشكل ٧/١٤ - مقابلة بين حصيلتي الطاقة من التجريد اللاهوائي للفلوكوز الى حامض البيروفيك ازاء اكسدة البيروفات pyrovate الى ثاني اوكسيد الكربون والماء .

بقيت الحياة على المستوى المجهرى لما يناهز ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة، لكن الميتوكوندريا ، أو لربما اسلافها المباشرة التي قامت باستنباط المسلك الانزيمي لأكسدة الفلوكوز بالتمام ، كانت تعمل ببطء على تنمية الاندلاعة الانتشارية . ربما استغرقت تنمية الآلية مئات الملايين من السنين.



لكن ثوابها كان هائلا ، فقد تمكنت المتعضيات القادرة على الفسفرة التأكسدية الآن من الحصول على ست وثلاثين (٣٦) جزيئة من الأت ب بدلا من الاثنتين لكل غلوكوز اللتين كانت تستحصلهما من عملية التخمر ، وكانت هذه الزيادة الثمانية عشر (١٨) ضعفا في الطاقة هي التي فجرت انطلاقة الحياة الكبرى من سجنها الخلوي الميكروبي الى تعددية الخلوية وبعد جديد بكيته.

الفصل الخامس عشر - مسألة التكوين

ان جميع المتعضيات على وجه الارض، اعتبارا من ابسط خلية مفردة وصعودا حتى الانسان بذاته، ما هي الا مكائن خارقة القدرات تقوم بلا جهد ولا عناء بتحويل جزيئات عضوية معقدة ، وفرز انماط سلوكية في غاية الدقة والاتقان ، منتجة ، من المواد الخام الموجودة في البيئة، نسخا بلا عد ولا حصر مطابقة لذاتها في كثير أو قليل . تتألف العمليات الحياتية من خطوات متداخلة في تشابك مستغرق ومسيرة بضبط بالغ المهارة تتم في باطن الخلية العجيب البنية والتركيب، مع مناطق تخصصية يتم فيها انجاز تفاعلات كيميائية معينة . تشير التقديرات الى أن الخلية البشرية الواحدة تضم مائة (١٠٠) ألف جزيئة انزيمية تنجز ما بين الف (١٠٠٠) والفي (٢٠٠٠) تفاعل كيميائي، أي بمعدل خمسين الى مائة (٥٠-١٠٠) جزيئة لكل عملية. ويتضمن الجسم البشري عشرة تريليون (١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) خلية تقوم كل منها بدور خاص في المتعضية الكلية.

كما ان قدرة الانزيمية على تنفيق التفاعلات البيوكيميائية لا تقل بهرا واعجابا بل قل اعجازا . تتراوح وتيرة التحفيز لدى أغلب الانزيمات ما بين الف الى أكثر من خمسمائة الف (١٠٠-٥٠٠ ٠٠٠) جزيئة بالدقيقة الواحدة. انما يبدو أن الوتيرة الأسرع لوحظت لدى الانزيم كاتالاز (catalase) فبوسع جزيئة واحدة من الكاتالاز تحويل أكثر من خمسة ملايين (٥٠٠٠ ٠٠٠) جزيئة من البروكسايد بالدقيقة الواحدة!

لا غرو اذن أن تنظر الناس الى الحياة كظاهرة يمكن تفسيرها فقط بمنطوق الشرائع الالامادية . لكن، كما بالنسبة الى جميع الظواهر، بدت الخلية الحية مستغلة الفهم محيرة فقط لأنه لم يكن قد توفرت بعد ما يكفي



من المعلومات حول العمليات البيوكيميائية لتتزيد سياق منطقي للاحداث الجارية في وظيفتها .

وقد بدا في زمن ما، نظرا الى أن الحياة خلقت النظام من الانظام، بأنها أعجزت القانون الثاني للدينامو حركات أو علم الترموديناميك (thermodynamics) ، والذي ينص على استحالة وقوع عمليات من شأنها أن تؤدي الى زيادة النظام . لكن هذه النظرة اخفقت في الاخذ في الحساب أن القانون الثاني المذكور ينطبق فقط على المنظومات المغلقة . ان الكون ككل ، مع انعدام تبادل المادة والطاقة من الخارج، متوجه ببطء الى حالة من العشوائية التامة . بينما المنظومات الحية ، من جهة أخرى، مفتوحة وليست مغلقة . ان ما يدفع عجلة الحياة هو ضوء الشمس المتدفق الينا من خارج يبتنا .

كانت قدرات التمثيل الباهرة لدى الانزيمات مذهلة ومربكة لمجرد أن تكنولوجيانا في العموم لم تكن بعد بلغت مستوى كفاءة العمليات الحياتية . أن القوان الفيزيائية والكيميائية مستمدة ومبنية على الاحتمالية الاحصائية لسلوك الجزيئات بأسلوب محدد . تحتسب حركات التفاعل الكيميائي على النسبة المئوية للجزيئات التي تملك طاقة كافية وتنقل طليقة في خليط تفاعلي يصطدم بجزيئة أخرى ملائمة . ان محتوى الطاقة لدى الجزيئات في قطين (population) منها يتبع منحني توزيعيا (distribution curve) ، والجزيئات التي من شأنها تشكيل ناتج هي فقط تلك التي تضم قدرا من الطاقة يفوق مستوى معيناً . لكن المنظومات البيولوجية قد استنبطت آلية تختلف كل الاختلاف عن آلية الاحتمالية في علمي الكيمياء والفيزياء، وتملك الانزيمات مواقع نشيطة حيث يقع المورد والمتقبل للتبادل الكيميائي في نفس الجزيئة وفي مواضع حيزية تجعل وقوع التفاعل محتوما تقريبا عندما تلتئم الطبقة التحتية او السفلية (substrate) وذلك تجنبا لالتباس كلمة «الاساس» بـ



bases و foundation بالانزيمية. وبهذه الطريقة تكون كفاءة التفاعل على اقصاها بدلا من الطريقة العاجزة حيث تتناقل جزيئتا المورد والمتقبل مستقلتين عن بعضهما في السائل.

بهذه الطريقة تتمكن الخلية الحية من انجاز مسلسلات من التفاعلات باقتدار مذهل. توجد في مناطق من الخلية جزيئة مفردة أو مجموعة صغيرة انما فائقة الانتظام من الجزيئات موجهة بحيث يمكن انجاز التحويل الكيميائي في سلسلة من التفاعلات مع كون احتمالية اتمام كل تفاعل منها جوهريا مائة بالمائة (١٠٠٪). ان السلوك الجماعي لجزيئات منظمة على هذا النحو، ما عدا في المادة الحية، لم يسبق له مثيل في العلوم حتى ظهور الفيزياء المجسمة مؤخرا.

لقد كشف ايضا فعل التمثيل الضوئي، والتأيض، وآليات الانزيمية، وتمثيل البروتينات، وتناسخ وترجمة الحوامض النووية، بأن هذه العمليات جميعا تتبع قوانين كيميائية وفيزيائية ثابتة مقررة. لا يوجد ثمة أثر لأية قوة حيوية، ولا تمس الحاجة الى الاستعانة بهذه الفكرة لفهم آليات الحياة. ولم تكن النظرية الحيوية قط مبدءا ابتكر كيفما اتفق بل كانت نوعا من الرأي الشامل لتغطية كل ما يتعذر فهمه خلاف ذلك.

كما ان تعقدية الحياة ايضا باهرة ومذهلة. لقد قام البيولوجيون باحصاء وتصنيف ما يناهز مليون نوع من الحيوان ونصف مليون نوع من النبات، ويقدر عدد الانواع الحية التي لم يجر تصنيفها بما ينوف على عشرة ملايين نوع. ثم ان عدد الانواع المنقرضة والمتشعبة في الاحافير ربما يربو على كل هذا. لقد تنوعت الحياة الى حد رهيب، وامتدت في الحقيقة الى كل بقعة بيئية ملائمة من اطيان واوحال النزح البحرية المنتضبة الاوكسجين والتربات الغنية بالامونيا الى الرواسب الفلزية ذات المحتوى الاشعاعي



العالي • توجد متعضيات مجهرية تعيش في برك متزه يلوستون الوطني في درجات حرارة لا تقل عن ثمانين درجة (°٨٠) مئوية، وتوجد نباتات مجهرية في بركة دون خوان في القارة القطبية الجنوبية تتأيس في مياه كلوريد الكليسيوم في درجات حرارة منخفضة تبلغ ثلاثا وعشرين درجة (°٢٣-) مئوية تحت الصفر، كما توجد بكتيريا رطحالب وفطريات يمكنها أن تعيش في بيئات شديدة الحموضة أو القلوية ، ولشدة غيط الفيزيائيين تواصل البكتيرة سيودوموناس راديو يورنس (Pseudomonas = radiodurans) الكاذبة الضخامة المقاومة للاشعاع) ازدهارها في مجرى النيوترون (neutron flux) عند بواطن المفاعلات الذرية لآحواض السباحة.

نحن ننزع الى الاندهاش من هذا التنوع الرهيب للحياة على الارض، انما تحت هذا التنوع المتضارب الخارجي توجد اشتراكية عظمى. فقد أماطت التقدمات المحرزة في البيوكيمياء اللشام عن ان جميع المنظومات البيولوجية تستخدم في الاساس نفس العمليات لاداء وظائفها كمتعضيات ذاتية الادامة • تشتمل حوامض النوويك والبروتينات على أهمية مركزية مطلقة لجميع العمليات الحياتية ، والوحدات الفرعية لهذه البيوبوليمرات هي نفسها لجميع المتعضيات، وحتى الكيمياء المجسمة ، أي يمينية أو يسارية الجزيئات البيولوجية ، هي نفسها في الكافة • كما يوجد ايضا صنف رئيس من المركبات تستخدمها جميع اشكال الحياة لنقل الطاقة الكيميائية ، وهذه العوامل هي فوسفات النووتيد (nucleotide phosphates) • أما البورفيرين، وهي المركبات الدائرية التي تشكل النواة النشيطة للهيموغلوبين، والكلورفيل، والسيتوكرومات ، فهي مقومات متواجدة في كل شيء. لكن ما هو أعجب من كل هذه بأجمعها هو التشابه في ترجمة معلومات حامض النوويك الى بنية البروتين. وقد تبين، منذ أن تم فك رموز المدونة الجينية في السنوات الستينية



من هذا القرن العشرين، ان لغة الوراثة هي نفسها لجميع الكائنات الحية . كل هذه المشتركات والعديد غيرها، ولاسيما حيث لا تتواجد أية فائدة انتقائية بارزة ، تشير بقوة الى أن جميع أشكال الحياة على الارض هي سلالة جد سلف واحد مشترك.

لقد أصبحت الحياة ، منذ نشأتها من سلف سابق مجهري بدائي، معقدة على نحو رهيب . لقد وجد ان وزن الدنا في الثدييات يبلغ $(6 \times 10^9 - 12 \times 10^9)$ غرام . فاذا كان زوج من النووتيد يزن $(3 \times 10^9 - 12 \times 10^9)$ غرام فان مقدار الدنا في كل خلية ثديية يبلغ ما يعادل ثلاثة آلاف ومائتي (٣٢٠٠) مليون زوج من النووتيد . وباعتبار ان معدل طول البروتين يبلغ خمسمائة (٥٠٠) حامض اميني، وهو يعادل جينة ذات الف وخمسمائة (١٥٠٠) زوج من النووتيد، فان كل مخلوق ثديي يملك مليونين ومائة الف (٢١٠٠ ٠٠٠) جينة^(١). وقد اقترح آرجيه بريتن (R.J. Britten) ودي اي كوهنه^(٢) (D.E. Kohne) ان اربعين بالمائة (٤٠٪) من الدنا يتألف من سياقات تتكرر ما بين عشرة آلاف الى مليون (١٠٠٠٠ - ١٠٠٠٠٠) مرة . وهذه امتدادات طويلة من الدنا التي لا تدون لسياق من الحوامض الامينية أو جزيئات الرنا وانما تعمل على فصل الشداف المعلوماتية في الجزيئة . وبعد طرح هذه التكرارات، يظل يبقى لدينا مجال لما يبلغ مليون ومائتين وخمسين الف (١٢٥٠ ٠٠٠) جينة مختلفة في صبغوسومات كل نوع من انواع الثدييات . فبأية طريقة امكن نشوء مثل هذه التعقيدية في عملية تحت التحكم والسيطرة خلال ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة؟

تواتر تعقيد متواز بعد تطور المنظومات المتعددة الخلايا ، عندما تطورت المتعضيات الاحادية الخلية الى متعددة الخلايا ، تمكنت الخلية الواحدة من اطلاق اعداد فلكية من النسخ . ان الخلايا التي تشكل جسم الانسان مشتقة



من بويضة مفردة انقسمت الى ٢ ثم ٤ ثم ٨ ثم ١٦ وهكذا دواليك بالمتوالية الهندسية (geometric progression) لتكون الشخص الكامل . ومهما يبدو لا معقولا فان الخلية المفردة الواحدة تحتاج الى احدى واربعين (٤١) انقسامات لتصبح عشرة تريليون (١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠) . وهذا هو التريليون الامريكي ويساوي بليون بالحساب الانكليزي الالمانى حيث التريليون يتألف من واحد تتبعه ثمانية عشر صفرا) .

والمتوالية الهندسية وسيلة فعالة للغاية لبلوغ الارقام الهائلة الضخمة ، وقد اكتشف النشويون الجزيئون ان الآلية الرئيسة في النشأة هي تضاعف الجينات من خلال التحول الفجائي او التبدل الطفرة . ومع كل تضاعف يمكن لاستبدال واحد من الحوامض الامينية في نسخة واحدة ان يضيف بروتينا جديدا . وبهذه الطريقة نشأت اعداد من البروتينات مختلفة في الوظيفة كالزلال اللبني من الحليب (lactalbumen) وانزيم الليسوزيم (lysozyme) من نفس الجينة . كان تضاعف المادة الجينية ليكون حادثة نادرة . مع ذلك ، ان تضاعف جينة مفردة الى مليون وستمائة الف (١٦٠٠ ٠٠٠) بالمتوالية الهندسية كان لا يتطلب أكثر من (٢١) تضاعفا متواليا منذ بداية الحياة على الارض ، أو على فترات معدل طولها مائة وثمانية وثمانون (١٨٨) مليون سنة .

لم يكن مسار التعقيدية مستقيما سويا تماما كالماتوالية الهندسية لجينة مفردة . فقد تدخلت اعتبارات أخرى في التبدل الطفرة والنشأة ، ويفترض ان الخلية الاولى تألفت من حشد من المواد البوليمرية الصغيرة وليس من جينة مفردة واحدة . كما ان تدرج السلم الزمني ليس مؤكدا لأن الجينات لم تتطور الى الحجم الاكبر وانما الى الحجم الامثل للانزيمات . ان تناسخ جينومة كبيرة (مجموعة الجينات المؤتلفة) كان سيعني تناسخا واسعا متماديا



للمادة الخلوية بنسخ متعددة من البروتينات المماثلة مدخلة أحوالا كان من شأنها أن تكون أكثر فائدة للحياة الاولى مما لاشكالها اللاحقة . مع ذلك، أن تضاعف الجينات مع التراكم اللاحق لنقطة التبدلات الطفرة كان على ما يظهر الوسيلة الأشد فعالية وتأثيرا في بلوغ الحجم والتنوع، وبقينا قد اشتملت بعض التناسخات العتيقة الجنومة ترمتها.

Table 15.1. Hypothetical doubling of a gene at 188-million-year intervals.

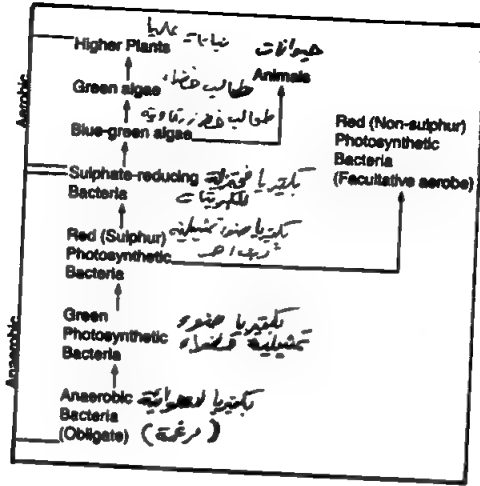
N ²	Time (millions of years)	Number of genes
21	0	2,097,152
20	188	1,048,576
19	376	524,288
18	564	262,144
17	752	131,072
16	940	65,536
15	1,128	37,768
14	1,316	16,348
13	1,504	8,192
12	1,692	4,096
11	1,880	2,048
10	2,068	1,024
9	2,256	512
8	2,444	256
7	2,632	128
6	2,820	64
5	3,008	32
4	3,196	16
3	3,384	8
2	3,572	4
1	3,760	2
		1

الجدول ١٥/١ - التضاعف الافتراضي لجينة على فترات ١٨٨ مليون سنة.



وعند مقايضة الدنأ في كل فرد من تنويع كبيرة من الثدييات تبين انه من نفس المقدار تقريبا. وبناء على ما تبديه سلاسل البيتا والديلتا (beta, delta) للهيموغلوبين ، فقد حصل التناسخ ضمن السلالات الثديية في بعض السدف الصغيرة من الصبغوسومات ، انما لم يحصل تناسخ لاجمالي الدنأ برمته. ورغم ان الثدييات ربما تملك نفس القدر من الدنأ كصنف، ألا انها تملك زهاء اربعة اضعاف القدر الموجود في الحبليات الاولى (protochordates) وبعض الاسماك. يظهر انه حصل تناسخ الجنومة برمتهما مرتين في اثناء النشأة من الحبليات الاولى الى الثدييات. حصل التناسخ الاول في زمن ما قبل حوالي اربعمائة وخمسة وستين (٤٦٥) مليون سنة مضت، عندما تطورت الفقريات الاولى من الحبليات البدائية أما تناسخ الجنومة للمرة الثانية فقد حصل اثناء نشأة الزواحف الاولى أو في ما قبل الزواحف حوالي ما قبل ثلاثمائة وعشرين (٣٢٠) مليون سنة خلت.

توضح قضية الفريدوكسين بجلاء الطريقة التي نشأت بها الانزيمية من بنية اكثر بساطة. ان الفريدوكسينات بروتينات لاهيمية (nonheme) تتضمن الحديد وجدت في البكتيريا والطحالب الخضزررقاوية والخضراء اللاهوائية والنضوء تمثيلية، وايضا في النباتات الاعلى. وهي تشارك بمثابة حاملات الالكترون في تنويع واسعة من العمليات البيوكيميائية بما فيها عمليات التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين واختزال الكبريتات والتفاعلات الهيدروجينازية ، وتفاعلات أخرى مؤكسدة اختزالية.



الشكل ١/١٥ - النشوء التطوري للفيريدوكسينات

Figure 15.1. Evolutionary development of ferredoxins.

تبلغ سلاسل البولي هضيتيد في فيريدوكسينات النبات باحتوائها على خمس وخمسين (٥٥) فضلة من الحوامض الامينية تقريبا ضعف طول تلك الموجودة في البكتيريا اللاهوائية ، بينما يأتي فيريدوكسين الكروماتيوم ، وهي بكتيرة ضوء تمثيلية ، وتوسطا بين الطرفين . ثم ان صلة النسابة واضحة تماما نصفي الفيريدوكسينات البكتيرية . يبدو ان جميع الفيريدوكسينات مشتقة من التناسخ المتكرر للسياق البدائي لأربعة حوامض أمينية ، بما فيها



من الحذوفات واستبدالات الحوامض الامينية • حصل تضاعف في طول الجينة في السلالة البكتيرية التي نشأت مباشرة قبل تشعب الكروماتيوم، ثم تضاعف آخر مستقل عن التضاعف البكتيري الذي أفضى الى فريدوكسين النبات^(٣) •

Table 15.2. Composition of *Dialister pneumosintes*.

	(Grams $\times 10^{-14}$)	(Daltons $\times 10^8$)	Percent
Dry Weight	2.80	160	
DNA	0.13	7.8	4.66
RNA	0.30	18	10.33
Protein	1.20	72	43.00
Carbohydrate	0.47	28	16.45
Lipid	0.16	37	21.70

Note: A weight of 0.13×10^8 grams of DNA is equivalent to 6.5×10^8 daltons (one dalton is the molecular weight of one, or 1 gram is approximately 6×10^{23} daltons).

Table 15.2. Composition of *Dialister pneumosintes*.

	(Grams $\times 10^{-14}$)	(Daltons $\times 10^8$)	Percent
Dry Weight	2.80	160	
DNA	0.13	7.8	4.66
RNA	0.30	18	10.33
Protein	1.20	72	43.00
Carbohydrate	0.47	28	16.45
Lipid	0.16	37	21.70

Note: A weight of 0.13×10^4 grams of DNA is equivalent to 6.5×10^8 daltons (one dalton is the molecular weight of one or 1 gram is approximately 6×10^{23} daltons)..

الجدول ٢/١٥ - تركيبة الديالستر نيوموستنيس

نشأت الحياة وتطورت من البسيط الى المعقد مستحثة الى ذلك بالتميز التنافسي للمتعضية الأكثر اقتدارا أو الطريقة البيوكيميائية الأكثر فعالية التي ظهرت من خلال التبدل الطفري. وهذا بالذات هو ما يغرينا ويدفعنا الى البحث عن المتعضيات الأكثر بساطة كنماذج للحياة الاولى. وفي هذا الاسلوب فائدة قيمة لأنه يوجد حيا اليوم ما يمثل العديد من مراحل النشوء طوال مسيرة الحياة قاطبة. غير انه يتوجب اتباع هذا الاسلوب بحذر لأن جميع الحياة المعاصرة لها سلالة أسلاف متساوية في الطول. ورغم ان المتعضيات المجهرية الاشكال الابسط للحياة فانها ليست الاشكال البدائية للحياة، والبنى الانزيمية والعمليات التايضية التي تشاركها البكتيريا معنا ليست أقل قدرة وتعقيد من التي لدينا بالذات. ونحن نختلف لأن كلا منا قد تطور لاستغلال جانب مخالف من البيئة التعايشية.

ورغم ان المقومات البوليمرية ربما تكون متساوية في تطورها، فانرياسة



(architecture) البروكاريوت أبسط بقدر كبير منها في الخلايا اليوكاريوتية ، كما توجد سمات أخرى تقدم المبررات الكافية للاعتقاد بأن البروكاريوت جاءت قبل اليوكاريوت . ولوضع الأمور في المنظور ينبغي علينا أن نتفحص التركيبة للبروكاريوت . ان البكتيرة دياليستر نيوموستيس (dialister pneumosintes) ، على سبيل المثال ، تملك القياسات ٤-٦-٨-١٠ ميكرومتر عرضا و ٥-١٠-١٥ ميكرومتر طولاً . ولما كان الميكرومتر يساوي ١/١٠٠٠ من المليمتر ، فان هذه البكتيرة تبلغ من الصغر ما يمكن معه وضع مائتين وخمسين (٢٥٠) ألفا منها في النقطة الواقعة في آخر هذه الجملة . مع ذلك، فان أمر مقايسة تركيبها الكيميائية واحتساب بنيتها القوامية من السهولة بمكان .

يمكن استنتاج الكثير من تركيبة المتعضية . بما انه يجب أن يتضمن الدنا المزدوج الوهن تقريبا عشرين (٢٠) ضعف وزن البروتين الذي يقوم بتزويده بالمعلومات ، فان (٦٨٥×١٠) وحدة كتلة ذرية من الدنا ستحمل المعلومات لامداد (٣٣×٧١٠) وحدة كتلة من ذرية البروتين ، وباعتبار أن معدل الوزن الجزيئي للبروتين يبلغ (٤٠٠٠٠) (أربعين ألفا) اذن لابد انه يوجد (٨٠٠) جزيئة من البروتينات المختلفة في الخلية الواحدة للبكتيرة دياالسترة فاذا كانت جميع البروتينات هي انزيمات، اذن لجزيئة مفردة بالتفاعل الواحد، تستخدم الخلية ثمانمائة (٨٠٠) تفاعل لكي تكون منظومة وظيفية ذاتية الكيان . وعليه، فلربما ان البكتيرة تستخدم عدة مئات من التفاعلات . وهذا يبدو رقياً معقولاً، لأن البكتيرة الاكبر ايشريشياكولي (E. Coli) ، وهي المتعضية المجهرية المدروسة على اوسع نطاق، قد كشفت لحد الآن عن خمسمائة (٥٠٠) تفاعل بيوكيميائي تم التعرف عليها^(٤) .

وبالرغم من صغرها الضارب ، فانها ليست الخلايا الذاتية الكيان

الأصفر، ان أصغر الخلايا الطليقة العيش المعروفة هي المتعضيات الشبيهة بالبلورونيومونيا (PPLO=pleuropneumonia) المسماة بالميكوبلازما (mycoplasma) . هذه المتعضيات تسبب امراضا خطيرة في الاغنام والماعز والدجاج والدجاج الهندي وتتواجد كنباتات رمية او رمومات غير مؤذية (saprophytes) في الاغشية المخاطية للحيوانات والانسان ، وايضا في كساحة البلايع والمجاري وفي التربة . وينما تملك الاميبا (amoeba) كتلة من (٧-١٠×١٠) غرام، يبلغ وزن PPLO (١٠×١٠-١٦) غرام ويقع طولها في حوالي (١٠) ميكرومتر ، ويمكن رؤيتها فقط بمجهر الكتروني .

وبسبب حجمها تتسع الـ PPLO لما يقرب من مائة (١٠٠) انزيم فقط . وهذه المتعضيات تنمو ببطء شديد . على ما يظهر تعيش هذه المتعضيات في بيئة حيث يردها بلا عناء العديد من المقومات اللازمة التي يتحتم على المتعضيات الاكبر تمثيلها . رغم ذلك فان الـ PPLO متعضيات قامة الوظيفة والتكاثرية التي لا تستطيع العيش على اكثر من ، وربما اقل بكثير، مائة (١٠٠) تفاعل بيوكيميائي . ولو تواجدت بيئة تتضمن جميع لبنات البناء اللازمة ومصادر طاقة من قبيل الأتب، فانه يمكن أن تكون المتعضية الوظيفة أصغر الى حد بعيد وابطس حتى من الـ PPLD . وفي الحقيقة ان باطن الخلية يمثل مثل هذه البيئة وهذا هو كون الفيروسات اصغر .

غير ان الفيروسات ليست متعضيات ذاتية الادامة ولا يمكن اعتبارها نوعا من الحياة ، وينبغي عدم النظر اليها كبداية وانما بالاحرى كشكل بالغ التعقيد من الطفيلية ، ذلك لأنها هي ايضا من نتاج نشأة عمرها ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة . ولا تبدو الفيروسات بأنها الناتج النهائي لنشوء من بنية ابطس، بل هي أما مشتق منحرف لخلية او ناتج مسيخ لأحد أشكال الحياة الاعلى . (ملاحظة : في حوالي (١٠-١٨) وحدة كتلة ذرية تبلغ الفيروسات

حوالي جزء من عشرة ملايين جزء من حجم الاميبا (يذكر الاصل

١٠٠

١٠٠٠٠٠٠٠ ٠٠٠

أو مائة جزء من الف مليون) • وعليه فإن الاميبا بعيدة بالحجم عن الفيروسات
كبعثنا بالحجم عن الاميبا) •

ان الفيروسات هي ابسط المتعضيات، انما يوجد صنف آخر يقع بين
البكتيريا والفيروسات • وهذه هي الريكتسيا (rickettsiae) ، وهي، كالفيروس،
طفيليات تتكاثر فقط في الخلية المضيفة ، انما هي أقرب الى البكتيريا من حيث
الحجم والتعقيد والقدرة التأيضية • تسبب الريكتسيا امراضا عديدة منها
التيفوس البوابية والحمى المرقطة (Rocky Mountain spotted fever)
ومن سماتها الملفقة للاهتمام شبهها بالميتوكوندريا • كلاهما يتضمن مكونات
لدورة كريس (Krebs) من التفاعلات، وكلاهما يستخدم (NADP) ، ألا ان
كليهما يعجز عن مواصلة اكسداته الاعتيادية بعد تجميده في وسط ملح،
انما يمكن وقايته من فقدان المناشطة بأضافة الغلوكوز •

تفيد احدى النظريات ان الفيروسات نشأت كجينات مسيخة انخرفت
عن الخلية ، وهذا التصور تابع من شدة نوعوية (specificity) الفيروس •
انما النظرية الاكثر اغراء هي انه اولا الريكتسيا ثم الفيروس نشأت من
البكتيريا، وفيما طور كل منهما منوالا طفيليا من الوجود كلاهما فقد القدرة
الزيادة في تمثيل بعض الانزيمات اللازمة للمتعضيات الطليقة العيش •





الشكل ٢/١٥ - صورة ضوئية بالمجهر الالكتروني لجسيمة فيروس القوباء
 (فيرون). • يحيط غلاف الفيروس بالنوكابسيدة (nucleocapsid)
 التي بشكل العشرياني الاسطح . والكبسوميرات (capsomeres)
 وهي مورفولوجية ، هي الوحدات الفرعية للكبسيدة (capsid =
 غليمة) ظاهرة . والشخط يمثل مائة (١٠٠) نانومتراً . والصورة مكبرة
 مائتي (٢٠٠) الف مرة .

ييدي الانسان اندهاسه وبالنغ اعجابه بكفاءة النباتات والحيوانات ويفصح عن الفكرة ان مثل هذه الخلائق هي بالحتم أحداث فريدة يتعذر نشوؤها بالمرّة عن التفاعلات الطبيعية لوحدها . لكن الطبيعة ليست مبنية على اللاحتمل . فقد نشأت اشكال مختلفة من الحياة ، بنياتها وأجزائها الوظيفية بمثابة الاشكال الافضل من بين عدد كبير من الامكانيات، أي ان العملية الانتقائية جعلت نشوءها محتملا في ظل الظروف القائمة . فقد ظهر الشكل الانسيابي للحركة البحرية العالية السرعة مع حيوان الستوبتريجيوس (stenopterygius) وغيره من زواحف الدهر الوسيط او الميسوزويي، ومع التونا وهي سمكة، والدولفين وهو ثديي . ونشوء هذا الشكل ثلاث مرات مستقلة عن بعضها وفي اشكال من الحياة لا صلة بينها لا يدل على صدفة فادرة ، بل بالاحرى على ان الدينامية المائية (hydrodynamics) تضم مجالا ضيقا من الحلول للمسألة . فالعين، التي تعتبر من الاعضاء العجيبة، نشأت مستقلة مرات عديدة مدللة على ان هذه البنية هي الحل الافضل للتسجيل البصري .

ان الاحتمالات التي تشير الى أن فرصة التجمع بالصدفة للتواليست القاعدية لأحد حوامض النوويك لها (٨٧١٠) طريقة مختلفة^(٥)، أو ان الاحتمالية لتكون بروتين ذي وزن جزيئي قدره ستون الفا (٦٠٠٠٠) بفعل التكتل تبلغ واحدا (١) في (٦٠١٠) عديدة المعنى . ذلك لأن تكون الحياة لم يأت صدفة ولم يكن غيره محتمل . ومثل هذه الاحتمالات مصممة للتدليل على استحالة حصول الحياة في ظل الظروف الطبيعية ، وهي مبنية على الفرضية الخاطئة ان الحياة نمت وازدهرت بتمامها وبكل تعقيدها وتطورها كما في المتعضيات المعاصرة . لقد بدأت الحياة ببساطة وبطء وتطورت كنتيجة للبقاء التلقائي الجهازي بالالتئام بين المواد التي ملكت خاصية الاشتغال ونفذ كل ما لم يملك هذه الخاصية .



ان المنظومات المعقدة ، من الامبراطوريات الى البنى البيولوجية ، لا تظهر الى الوجود فجأة تامة بكل مراحل نموها وتطورها . انما بالعكس . يتحتم عليها بعد ظهورها ان تنمو بمراحل ، مع ترسخ كل مستوى ترسخا تاما مستقرا قبل التوجه الى المستوى أو العتبة الاعلى التالية . أي ان الحياة تطورت بدرجات او طبقات من البنى الكيميائية ، وكل درجة كانت بالتوالي أكبر وأكثر تعقيدا من سابقتها . وتضمنت وحدات كل درجة في بنيتها الكيميائية الوسائل اللازمة لخلق المرحلة التالية من تطورها .

تكثفت النويات بالترجيح الى بولي نووتيدات، والحوامض الامينية الى بولي هضميتيدات، وتجمعت الجزيئات الضخمة لتكون خلية وظيفية . وبدورها امتزجت طبقة او درجة الخلية في نباتات وحيوانات متعددة الخلايا . وفي كل من مستويات او عتبات هذا الهرم اضطرت الوحدات الى الدخول في التثام ذاتي لتكوين المرحلة التالية الاعلى . انما هنا تكمن سمة بالغة الخطورة للتكوين . فاذا تناولنا خلية حية معاصرة وقمنا بتجريدتها وتفكيكها ثم أعدنا تأليف جميع المقومات البيولوجية لها، سنجد انها لا تلتئم ثانية في خلية وظيفية . ولا يمكننا تفكيك نبات أو حيوان متقدم متعدد الخلايا الى خلاياه التكوينية ثم إعادة تشييد المتعضية الى وضعها الاول الاصلي . اذ يبدو ان الخاصية المسؤولة عن الالتئام الذاتي قد فقدت في هذه المرحلة من التطور .

وللوهلة الاولى يبدو لنا ان هذا ينقض المبدأ الاساسي تماما عند انطباقه على المستوى الذي تكونت الحياة فيه . لكننا قد رأينا ان المتعضيات المتعددة الخلايا تملك في المراحل البدائية من النشوء قوى الالتئام الذاتي، كما في الاسفنج واللاحشويات والاجنة في نموها الابتدائي . لقد كان في مرحلة لاحقة ، بعد أن قطعت المتعضيات المتعددة الخلايا شوطا في التطور،



ان اندمجت خاصية تنظيم وضبط هذه الخلايا المختلفة في بنية المطبوعة الجينية الشاملة فتطورت الخلايا معها في مرحلة شديدة النوعية لا شأن لها بالالتئام الذاتي.

ان ما يحصل هو أنه كلما تقدمت الوحدة في التعقيد كلما ازدادت نوعية علاقاتها الجزئية الباطنية والبيئية ، أي ببعضها البعض في باطن الجزئية وبين جزئية وأخرى، وعليه ما ان تتخذ صفتها الجديدة هذه بالارتقاء حتى تنخفض معها بالتناسب قدرتها على الالتئام على الوجه الصحيح ثانية ، وهنا لدينا انتزاع طبيعة الانزيمات كمثال باهر على هذا . تملك البولي هضيميتيدات الصغيرة ، كالكيميائيات البوليمرية ، ترتيبية حيزية متسقة ومستقرة نسبياً . أما البروتينات ، من جهة أخرى، فانها تشغل الحيز كتضاريس بنيوية معقدة وفي الغالب هشة ضعيفة تفرضها سياقات الحوامض الامينية والعديد من التفاعلات الباطنية.

تتخذ سلسلة البولي هضيميتيد شكلها، في عملية التمثيل الحيوي للبروتين، اثناء نموها من الريبوسومة ، بالالتفاف والالتواء والانطواء على نفسها وتمسكها التفاعلات الباطنية اثناء تكون هذه مع البروتينة المنبثقة . وفي ظل البيئة الكيميائية للخلية يبقى التضريس الثلاثي قائماً . غير انه اذا جرى عزل البروتينة وتعريضها حتى الى تغيرات طفيفة في تركيز Ca^{++} او تركيز الملح، وايضا درجات الحرارة المرتفعة، فان القوى الضعيفة المسكة بالبروتينة في تضريسها ستعرض للتصدع . تقوم سلاسل البولي هضيميتيدات باصلاح الترابط في الجزئيات وما بينها ولكنها تفقد توحيدها لأن السلسلة التامة الآن تملك طرقاً عديدة متاحة للتفاعل البيئي . فاحتمالية اتخاذ البروتينة تضريسها الاصلية الآن ضئيلة كل الضالة ، فيقال أن طبيعتها قد انتزعت ، وعندما تكون البروتينة انزيمية انشطتها متوقفة على نوعية

تضريستها يؤدي انتزاع الطبيعة الى ضياع النشاط الانزيمي^(٦).

تكون احتمالية الالتئام الذاتي على أعظمها عندما تكون مكونات وريازة المنظومة البيولوجية صغيرة وبسيطة . فعلى سبيل المثال تملك الريبوسومات القدرة على الالتئام الذاتي، وقد تم تقليد واعادة تجميع الفيروسات أسفر عن الحصول على عدة نسب مثوية من المتعضيات المعاد تشييدها^(٧). تنزع الطبيعة الكيميائية في العديد من المركبات البيولوجية الى التجمع في توليفات فوق جزيئية نوعية لحد ما ، والازدواج القاعدي للنووتيدات التسمية مثال على مثل هذا التجمع . مع ذلك، توجد تفاعلات اضافية أخرى، بما فيها الازدواجات القاعدية ، ممكنة ولكن المنظومات البيولوجية لا تستخدمها . وربما كانت بعض من هذه جزءا من الخلايا الاولى ولكنها نبذت لكونها أقل فائدة من غيرها التزمت بها المتعضيات . غير انه لا ريب ان الالتئام الذاتي الابرز يتمثل في التحفز التلقائي لدى الدهنيات نحو تكوين البنية.

ان الشرط الادنى لتكوين الخلية البدائية هو الصلاحية الكيميائية في المكونات المتعاشرة مع التنظيم الملائم لاداء وظيفة التناسخ في الخلية . وكانت الاحتمالية على اقواها لهذا الغرض في الخلايا ذوات المكونات الاقل عددا والاصغر حجما مع احتفاظها بوظيفتها . كانت الاستحالات البيوكيميائية لتكون بطيئة ومنخفضة الفاعلية ولكنها لم يوجد أمامها ما ينافسها ولم يكن لها عدو غير الانحلال . والعبء التي تحتم على المنظومات الحية الابتدائية عبورها كانت قدرتها على النمو والتكاثر بسوتيرة اسرع من الانحلال أو الحلمة ، وما ان عبرتها حتى عجلت الخلية تطورها بالتبدل الطفري الى قدرة متزايدة ابداء، وورث سلالة هذا الشكل الناجح الأول من الحياة الارض .

وكشهادة على البداية البسيطة للحياة هي أن تعقدية المتعضيات المتقدمة



قائمة على عدد من المواد مدهش في قلته • ومن بين آلاف الملايين من المركبات العضوية المحتملة تستخدم الحياة المعاصرة على الأرض اقل من الف وخمسمائة (١٥٠٠) منها، وهذه الالف وخمسمائة مشيدة من اقل من خمسين (٥٠) لبنة لبناء جزيئية بسيطة •



الفصل السادس عشر - جوهريات الحياة

هل تملك الحياة كيميائية فذة لاءمتها ظروف فريدة تواجلت في الارض البدائية قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة (٣٥٠٠) مليون سنة خلت، أم كانت الحياة نتيجة لابد منها في الاحوال الجيولوجية العادية ؟ لتسنى الاجابة على هذا السؤال يقتضي بنا أن نحدد وتتبع المكونات التي كانت ستلزم تكوين خلية حية وظيفية . بالتثبت من المتطلبات اللازمة الصرف للمنظومة البيولوجية نستطيع أن نفهم الاحوال النوعية التي كانت ضرورية لنشأة الحياة على الارض.

عند تفحص التركيبة الكيميائية للكائنات الحية لا نجد غير العناصر العادية ، اذ من بين اثنين وتسعين (٩٢) عنصرا طبيعيا يوجد فقط اربعون (٤٠) منها في النباتات والحيوانات ، ومن هذه فقط ثماني عشرة (١٨) لازمة اعتياديا . ومن بين الستة والثلاثين (٣٦) عنصرا الموجودة في الجيللة الاولى أو البروتوبلازما تشكل اربعة (٤) منها فقط ثمانية وتسعين بالمائة (٩٨٪) من مجموع التركيبة الكلي . توجد مقادير صغيرة من الفوسفور ، والكبريت ، والصوديوم ، والكلورين ، والكلسيوم ، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم ، مع آثار للمعادن من حديد ، وبورون ، وموليبدنوم ، ونحاس أحمر ، وكوبالت ، وزينك ، ومنغنيز ، تمثل بمجموعها أقل من واحد بالمائة (١٪) . ولا توجد أية عناصر نادرة او غير عادية بينها .

ان الكربون والهيدروجين والنيتروجين والاكسجين التي تسود في المنظومات البيولوجية هي ، باستثناء الهليوم ، العناصر الاربعة الأكثر غزارة في الكون . والكربون والهيدروجين والنيتروجين والاكسجين ليست فقط هي من بين العناصر الأكثر تواجدا في الكون ، بل انها ايضا تحتوي على خواص كيميائية متميزة عن غيرها لدرجة انها فريدة في ادوارها كعناصر جوهريّة . ان



اوزانها الذرية منخفضة وتشكل عددا من المركبات العادية المستقرة والمتطايرة. ولهذا السبب أصبحت هذه العناصر الاربعة مركزة في الغلاف الغازي والمائي الذي يغطي سطح الارض.

Table 16.1. Volcanic gases.

Steam	H ₂ O	
Carbon dioxide	CO ₂	
Nitrogen	N ₂	
Sulfur dioxide	SO ₂	
Hydrogen	H ₂	
Carbon monoxide	CO	
Chloride sulfur	Cl ₂	
Hydrogen sulfide	H ₂ S	↓ Amounts Decreasing
Hydrochloric acid and other acids	HCl	
Volatile chlorides of iron, potassium, and other metals		

الجدول ١٦/١ - الغازات البركانية

نشأت الحياة من جملة المتطائرات المنتشرة من باطن الارض ، تكثفت وتراكمت لتشكيل الجو والبحار ، وبدون التطور الجيولوجي للارض لم تكن الحياة لتتكون على سطحها ابداء وليس فقط دوران الارض حول الشمس في نطاق ضيق مع هوامش من بضع نسب مئوية لاتاحة قيام الاحوال التي أدت الى ظهور الحياة ، انما لو كانت الارض أصغر حجما بقدر ، مثل القمر ، فان أي جو يظهر لها كان سيفلت من الجاذبية الضعيفة . لكن الاكثر من كل ذلك ، في النسبة الاكبر للسطح الى الحجم كانت الحرارة من النويدات (nuclides) المحتبسة ستبدد الى الفضاء الخارجي ولا تتراكم لتكوين البراكين ، ولم تكن منطقة الصحارة (magma) لتتكون ، ولم يكن باطن الارض ليتباين في طبقات مختلفة متداخلة ، وكان سيتعذر انتفاث المتطائرات الزائدة



الى السطح لتكوين الجو والبحار • وبدون كل هذه لم تكن الارض لتولد الحياة ابداء (ملاحظة: nuclide) ، ربما تصلح «نوييدة» تعرييا لها، هي صنف نوعي من الذرة لها متوسط عمر قابل للقياس) •

للكاربون خاصية لا يستغنى عنها وهي قدرته على تكوين روابط كيميائية ليس فقط مع عدد كبير من العناصر الاخرى، انما ايضا مع ذرات كاربونية أخرى. توجد بعض العناصر الاخرى تشارك في خاصية تكوين الترابط التسلسلي أو التعاقبي (concatenation) هذه، انما لمجال محدود فقط. فمن خواص الكاربون هي قدرته على الترابط في سياقات طويلة بروابط مفردة وثنائية وثلاثية وتشكيل مركبات حلقة أو الدخول في عدد هائل من التوليفات أو الالتصاقات مع عناصر أخرى. يقدر عدد مركبات الكاربون المعروفة الآن بأكثر من مليون ونصف المليون (١٥٠٠ ٠٠٠). وهذه التنوعية الرهبة للرياسة الكاربونية هي التي وفرت التعقيد اللازم لاتاحة تفاعل الخواص الكيميائية والفيزيائية الذي يصنع الكيان البيوكيميائي الذاتي الادامة.

ان احدى خواص المنظومات الحية التي تميزها عن الجساد هي قدرتها على التكاثر ، ومع كون الطبيعة الفطرية الجوهرية للخلية نزعها الى تشييد المكونات الكيميائية والفيزيائية في بنى، فانا هنا في المقام الاول ازاء الجزئيات التي تتكاثر تلقائيا. لقد تم الوقوف على طريقة تناسخ حوامض النوويك وكيفية تمثل سياق النوتيدات الاربع في رسالة مرموزة يمكن ترجمتها الى سلسلة من الحوامض الامينية في عملية تمثيل البروتينات • يكمن أساس الحياة في الخاصية الفذة للحوامض الامينية المتمثلة في نزعها الى التناسخ.

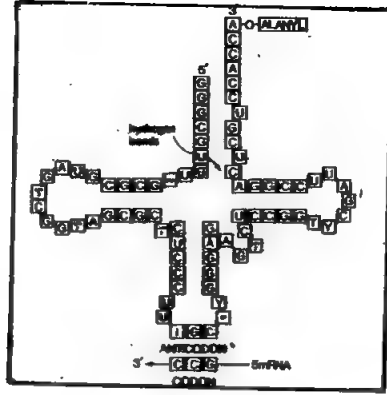
يتمثل الدور الاساس لحوامض النوويك في العمل بمثابة مطبوعة (blueprint) مستقرة نسبيا لتشييد المتعضيات ، ولكي تتمكن من اداء هذه



الوظيفة يتوجب أن تبلغ من الكبر ما تتمكن معه من حمل المدونة لبناء هضميتيدة. ولما كان كل حامض اميني يستلزم ثلاث نووتيدات ، فإن حجم البروتينات الاولى المقترض هو الذي سيحدد المتطلبات من الحوامض النووية. فاذا كان الفريدوكسين قد بدأ بهضميتيدة طولها اربعة حوامض امينية ، كما هو المعتقد الآن، فإن حامض النووية اللازم كان، بناء على ذلك، ليكون في الاقل اثنتي عشرة (١٢) وحدة فرعية في الطول.

والدور الثاني لحوامض النووية هو العمل بمثابة الرنأ الناقلة . فأن ستمس الحاجة الى مسلسل من جزيئات الرنأ الناقلة لنسخ حامض النووية المدون أو الرموز وترجمة تركيبته الى سياق من الحوامض الامينية . في المتعضيات المعاصرة يوجد رنأ ناقلة لكل من الحوامض الامينية العشرين .

تمكن روبرت هوللي (Robert Holley) والعاملون^(١) معه من التثبت ان سياق النووتيد للرنا الناقلة للالانين يتألف من بولي نووتيدة لها خمس وسبعون (٧٥) وحدة فرعية . يمكنها الانطواء الى الخلف على نفسها وتعلق في ترتيبية بشكل ورقة البرسيم بالاربطة الهيدروجينية بين القاعدتين المتتامتين المتقابلتين . وقد تم منذ ذلك الحين التثبت من سياق زهاء خمس وسبعين (٧٥) جزيئة مختلفة للرنا الناقلة . يتراوح عدد الوحدات الفرعية ما بين (٧٤) و(٩١) وجميعها تشكل نفس تضريسة ورقة البرسيم في العموم^(٢).



الشكل ١/١٦ - تفسيرة ورقة البرسيم للرنا الناقلة
(الرنا الناقلة للالانين)

يبدو ان الحجم الاقصى اللازم للنووتيدات المبلمرة لتعمل كرنأ ناقلة ليس تربية ورقة البرسيم التامة وانما في الاقل السلسلة مطوية خلفا على نفسها لتشكّل عروة أو انشودة دبوس الشعر (hairpin loop) لتوفر المجال للكودونة المضادة عند المنعطف . وبما أن نوعية الحوامض الامينية للرنا الناقلة كانت لتتأ في زمن مبكر فلربما ان جذوع الرنا الناقلة الابتدائية المتطلبّة للعروة الجانبية لورقة البرسيم كانت بنفس طولها اليوم تقريبا ، مما يضع الحد الادنى لحجم سلسلة النووتيد في حوالي اربعين (٤٠) وحدة.

لابد أن تناسخ حوامض النوويك كان قد بدأ قبل عملية التمثيل الحيوي للبروتين اثناء نشأة الحياة ، وبالنظر الى النوعية العالية والتشابه الشديد في بنية الرنا الناقلة، فلربما أنها كلها منحدره من جزيئة سلف مفردة واحدة.



انه لمن السهل الرؤية أن الجزيئات الضخمة كانت قد سبقت الخلية الحية الاولى في الظهور . انما عند تأمل الآلية التي تتكون بها حوامض النوويك والانزيمات في المتعضيات المعاصرة ، يواجه المرء معضلة . فحوامض النوويك تحمل المعلومات والآلية لتصنيع نفسها والانزيمات انما الانزيمات هي المحفزات للتفاعلات لاعداد كليهما . كيف اذن امكن أن تكون أي منهما بدون تواجد كليهما؟

هذا السؤال كان محيراً وقسم العلماء الى فريقين، فريق يعتقد ان حوامض النوويك^(٢) جاءت اولاً وفريق يحتاج ان الانزيمات او جزيئات ضخمة شبه الانزيمات هي الاكثر احتمالاً لتكون المكونات الاصلية^(٤) . ليتسنى تشييد أصل عقلائي لمنظومة بيولوجية يلزم أما ايراد البراهين على ان الانزيمات (أو بدائل مناسبة) كانت قد امكن انتاجها لاجيوا ، او أن يملك المرء القدرة على شرح كيف تمكنت منظومة بيولوجية من بدء الحياة بدونها . ان الاساس الجوهري للكائنات الحية هو النمو وادامة الذات ببناء الجزيئات . تقوم هذه بتمثيل وترصيص الجزيئات الضخمة من وحدات أصغر، وهذه عملية تستلزم لقيما من الطاقة . تبلغ الطاقة السائبة المحررة في حلماة زردة هضميتيد من جزيئة بروتينية ما بين اثنين الى اربعة (٢-٤) كيلوسعرة (kilocalorie) بالمولة ، ومعنى هذا هو ان ربط كل حامض اميني بسلسلة الهضميتيد في عملية تمثيل البروتين تستلزم (٣-٤) كيلوسعرة . وعملية بلمرة النوتيدات تحتاج الى كمية ماثلة .

وأحد السبل لسد هذا الطلب من الطاقة لتكوين اربطة كيميائية هو رفع درجة الحرارة فوق نقطة غليان الماء والى ارتفاع يجعل الطاقة الحرارية في المتفاعلات أو العوامل المتفاعلة تتجاوز الطاقة المطلوبة لتكوين الترابط الاسهامي للهضميتيد . لكن فيما تزداد الجزيئات تعقدا لمنظومة بيولوجية

تلعب التفاعلات الاضعف أو الاقل شدة دورا رئيسا في ادامة الرياضة المتصاعدة، وتصبح البنية اكثر حساسية للفعل التمييزي للطاقة الحرارية في تجاوزها للطاقة الكيميائية في هذه الاربطة.

لهذه الاسباب استتبطت المتعضيات طريقة بالغة الاتقائية والضبط لتوريد الطاقة اللازمة لتسيير عملياتها. ليتسنى تحويل تفاعلات التمثيل التصاعدية الى تفاعلات تلقائية نزولية تقوم المتعضيات بتنشيط احد المتفاعلات بمشتق عالي الطاقة ، وهذا يتطلب متفاعلا ثالثا يتضمن خزين طاقة أعلى ليتمكن من ترحيل بعض من طاقته وانزالها الى المتفاعل للتنشيط.

ان استخدام الطاقة الحيوية (bioenergetics) لدى الخلية الحية يشبه في الجوهر استخدام مصنع للطاقة الكهربائية . يجري تحويل الطاقة الحرارية من الفحم المحترق الى طاقة كهربائية في مولدة وتنقل الى البيوت حيث يجري تحويلها الى حرارة وحركة . في هذه العملية ، تستهلك كمية من الطاقة لتوليد الكهرباء أكثر مما يمكن ابداء استرجاعه . وبنفس الطريقة تقوم خلية النبات بالتقاط طاقة ضوء الشمس وتحويلها في مركبات خاصة الى الأجزاء الأخرى في الخلية ، وتستعيد الطاقة لبناء الاربطة الكيميائية.

ومشتقات حامض الفسفوريك صالحة بوجه الخصوص لهذا الدور ، لتضم في بنيتها الطاقة المستجمعة من ضوء الشمس ، والطاقة المخزونة في الرابط البيروفوسفاتي هي التي تقوم بتموين عمليات التمثيل البيولوجية . وبالتالي، فإن هذه المركبات العالية الطاقة مكونات ضرورية لجميع المنظومات البيولوجية . لكن رغم ان مشتقات البيروفوسفات يمكن أن تكون قد لعبت دورا ابتدائيا ، ألا أن ميزة الاستقرار للأت ب توحى الى انه ربما كان مقوم الحياة الاصلي.

ان الحاجة الى مشتقات البيروفوسفات تجعل الفوسفور عنصرا جوهريا.



لكن من بين العناصر الأكثر انتشارا الستة المطلوبة في المنظومة البيولوجية، وهي الكربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والاكسجين، والكبريت، والفوسفور، ينفرد الفوسفور لوحده بعدم تضمنه مشتقا متطائرا مستقرا، وليس له بديل. والزرنيخ أوثق اتساقا الى الفوسفور من أي عنصر آخر لكن انهيدريدات حامض الزرنيخيك ليست مستقرة في الماء، والاستقرارية المائية للآتب العالي الطاقة هي تجعل من الممكن استعماله في تمثيل حوامض النوويك، والبروتينات، ومكونات خلوية أخرى.

انما هنا يبرز تناقض مثير للاهتمام. ان وجود الفوسفات في مياه البحر ضئيل وفقط بكميات جزئية مجهرية، مما يجعله واحدا من اندر العناصر في البحار. قام اسيموف (Asimov) بمقارنة تركيبة ماء البحر بالعناصر المطلوبة لثبيت من العامل الذي يعوق نمو الحياة. تناول الحويمة القشرية الدقيقة كوبيبود (copepod = مجذافية الارجل) كنموذج يمثل الحياة الحيوانية في البحار، وقام بمقارنة النسبة المئوية للعناصر الجوهريّة الموجودة في تركيبة الكوبيبود بمحتويات ماء البحر منها. وكل نسبة أعلى في الحويمة اعتبرت تركيزا لذلك العنصر في الحويمة، وجد ان اربعة عناصر، الكربون والنيتروجين والفوسفور والحديد تواجدت بنسب تركيز كبيرة. والكربون والنيتروجين متوفران من الجو من خلال سلسلة الغذاء، انما بالنسبة الى العنصرين الآخرين كان عامل التركيز للفوسفور اربعة أضعاف نظيره في الحديد. وخلص اسيموف الى أن العامل المحدد من نمو الحياة في البحار هو كمية الفوسفور، وهذا الامر واضح في المياه الداخلية، أي الانهر وما اشبه، حيث يؤدي تلوثها بالفوسفور من سواكل التنظيف والاسمدة الكيماوية الى نمو سريع للطحالب.

نكن مهما كانت خطورة الفوسفور لنحياة، فهو ليس عنصرا نادرا.



هناك بعض الصخور، وعلى الأخص بيرماغيت والغرانيت (granite permagtitet) كثيرا ما تحتوي على قرارات كبرى من فلزات الاباتيت (apatite) وهي فوسفات ثلاثي الكالسيوم $(Ca_3(PO_4)_2)$ ، والفلوراباتيت . و
(fluorapatite) $= (3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2)$ ، الصعوبة هي ان املاح كلسيوم حامض الفوسفوريك مقاومة للذوبان للغاية ، وتزيل الفوسفور بفعالية من اية مياه يتجاوز فيها تركيز الكالسيوم على تركيز الفوسفور . ومن الممكن تماما أن تكون الحياة قد نشأت باتصال وثيق بالصخور المحتوية على الفوسفور في القرارات الرسوبية للفوسفات الثانوية (secondary phosphates) المفصلة من هذه الصخور .

قام جون ماكليندن^(٦) (John McClendon) من جامعة نبراسكا بأجراء مقارنة لقرارات والمتطلبات من العناصر الموجودة في المنظومات البيولوجية، ووجد أن تسعة عناصر ، نظرا لمطلوبتها الفريدة ، كانت لتكون جوهرية لنشأة الحياة . وهذه هي الكربون، والهيدروجين، والنتروجين، والاكسجين، والفوسفور، والكبريت، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم ، والحديد . لا بد أن الكربون والهيدروجين والنتروجين والاكسجين كانت غزيرة في المكونات الغازية للجو ، بينما كان الفوسفور مركزا في قرارات الصخور ، مع تواجد العناصر الباقية المطلوبة في مياه البحر في الاحوال الاختزالية للارض البدائية .

توجد المعادن الثقيلة ، من الحديد والمنغنيز ، والزنك، والنحاس ، والكوبالت، والمولبدنوم، بشكل رئيس في قشرة الارض ، أما البحار فهي تقريبا خالية منها . مع ذلك، هذه العناصر جوهرية للغاية لأغلب النباتات والحيوانات . وجد ماكليندن ان تركيز المعادن الثقيلة الجوهرية في النباتات لم يتناظر مع التركيزات البحرية وانما تناظر مع وجودها في القشرة . ويبدو



ان هذا يتناسب مع النباتات لأنها استوطنت المناطق اليابسة من الارض قبل الحيوانات وكيف تركيبها البيولوجية لتلائم والمقومات القشرية المتوفرة ، وتأثر دمج المعادن المناسبة لانزيمات معينة بغزارة المعدن.

لكن هل كان للمعادن الثقيلة دور في بيوكيمياء الاشكال الاولى من الحياة على الارض ؟ والاجابة على هذا السؤال تتوقف على تلاقية الاحداث في نشأة الحياة البدائية . فالحديد والنحاس والمنغنيز تعمل بالاساس كمكونات للبروتينات المستخدمة في عملية التمثيل الضوئي . كان دي او هول^(٧) (D.O. Hall) قد اقترح ان الفريدوكسين ، وهو البروتين المتضمن للحديد والداخل في نقل الالكترونات في مسلسلات التمثيل الضوئي، ربما كان أول بروتين تكوّن، وعليه فانه من المعقول تماما أن تكون وسيلة لتسخير الطاقة من ضوء الشمس قد برزت في زمن مبكر من نشأة المنظومات البيولوجية . فان صح هذا فانه يتوجب لتفسير تنشئة عملية التمثيل الضوئي لدى المتعضيات في البحار أن تحتسب لوفرة اكبر من هذه العناصر في مياه البحر آنذاك مما هي الحال اليوم . والآن بوسعنا أن نرى ان عندما نشأت المتعضيات الضوء تمثيلية قبل أكثر من ثلاثة آلاف (٣٠٠٠) مليون سنة خلت كانت كيمياء هذه العناصر في الاحوال الاختزالية للارض الاركية تختلف عما هي عليه اليوم .

Table 16.2. Concentrations of frequently required heavy metals.

	requirement Plant	Crust (mM)	Sea and air
Iron	0.400	0.015	0.0001
Manganese	0.200	0.43	0.000002
Zinc	0.060	0.87	0.000050
Copper	0.020	1.1	0.000075
Cobalt	0.0003	17	0.000036
Molybdenum	0.0002	900	0.0001

Source: Adapted from J.H. McClendon, J. Mol. Evol. 8, 175-195 (1976).

الجدول ٢/١٦ - تركيزات المعادن الثقيلة المطلوبة كثيرا . (المصدر : محورة من جيه ايج مالكينسون في مجلة النشوء، ٨، ص ١٧٥-١٩٥ (١٩٧٦).

لما كان العديد من المعادن الثقيلة اكثر غزارة في القشرة مما في مياه البحر، حتى في الاحوال الاختزالية ، فانها لربما اندمجت في انزيمات المنظومات البيولوجية المتقدمة بعدما خلقت النشأة التطورية حاجة اليها . ويبدو ان الكوبالت والموليبدنوم يقعان في هذه الفئة ، والكوبالت كجزء من الفيتامين ب١٢ (B12) ، والموليبدنوم في اوكسداز الزاثن (xanthine oxidase) في الفقريات ، يرجعان بوضوح الى تطور متأخر . انما للكوبالت ايضا صلة بتثبيت النيتروجين مثلما للموليبدنوم بالنيتروجناز (nitrogenase) . مع ذلك، ان الخضار الحبوبية او القطانية (legumes) بيكتيرياها التعايشية تثبتت النيتروجين، تكف عن احتياج الموليبدنوم اذا توفرت الامونيا^(٨). لكن مرغوليس^(٩) ترى بعكس هذا ان النيتروجناز في تثبيت النيتروجين بدأ في المتعضيات الاولى ، وبما ان العنصر الجوهرى موليبدنوم منخفض الوفرة ذهب بعض الباحثين الى اقتراح أصل للحياة من خارج الارض^(١٠). لكن يبدو ان الاحتمال الاكثر هو أن كلا الكوبالت والموليبدنوم لم يكونا ضروريين عند اول ظهور المنظومات البيولوجية على الارض وانما اندمجا بعدما كانت النشأة قد قطعت شوطا طويلا.

كان دور المغنيسوم كجزء من اليخضور قد تطور مع ظهور الطحالب الخضزرزرقاوية في زمن لاحق. أن تواجد بوفيرينات الفناديوم (vanadium) والنيكل (nickel) في البترول او النفط الخام لا يدل على ان هذين المعدنين كانت النباتات تستخدمها في عملية التمثيل الضوئي. بل التفسير الاكثر



عقلانية هو انها تتجا عن اراحة المغنيسيوم لتشكيل شبكات الفناديوم والنيكل الاكثر استقرارا اثناء تكون البترول.

من جهة أخرى ربما ان الكلسيوم، الذي هو ضروري للغاية في الحيوانات المعاصرة لتفاعلات فسيولوجية عديدة وايضا للبنية الهيكلية ، لم يكن عنصرا جوهريا بدائيا، ويبدو انه اصبح حاجة اشتقاقية عندما طورت النباتات والحيوانات بنى خارجية للخلايا.

وجد ماكليندن في فحوصاته ان هناك حدودا فاصلة لا يمكن ان يقع عنصر دونها ويستمر بالتوفر بكميات وافية للمنظومات البيولوجية . يقع التركيز الادنى للبحار ما بين واحد واثنين (٢-١) نانومولار وما بين عشرة الى واحد وعشرين (١٠-٢١) ميكرومولة بالكيلوغرام في قشرة الارض . والكوبالت والموليبدنوم فقط يدايان المستوى الاوطأ لكن الاعتماد عليهما في الظاهر كان نشأ في وقت متأخر وليس مطلقا . بعض العناصر ، كالروبيديوم (rubidium) والسترونشيوم (strontium) ، تتوفر بغزارة كافية وهي كيميائيا صالحة للعمليات الحيوية ولكنها لا تستخدم نظرا الى الوفرة الاكبر لعناصر مماثلة.

توجد مادتان اخريان لا يمكن الاستغناء عنهما لتكوين المنظومات البيولوجية ، وهما الماء والدهنيات . لكل منهما خواص فريدة تختلف عنها في الآخر، وهذا السلوك المتناقض لخواص كل منهما هو الذي يجعلهما ضرورة مطلقة للحياة.

ان الماء اكثر من مذيب للتفاعلات البيوكيميائية وهو في أغلب الاحوال عامل متفاعل . تشمل الكيمياء الخلوية بوجه رئيس تكوين وحلأة المشتقات الحامضية، والفسفرة والربط الاقتراني (coupling) للنووتيدات هي تفاعلات تأسيرية (estrification) ، بينما تمثيل البروتينات عملية اميدية (amidation)



ولما كانت هذه التكتيفات (condensations) تشمل ازالة الماء بين العوامل المتفاعلة ، بينما الحلمأة هي اضافة جزيئة من الماء ، فان الماء جزء مباشر من التفاعلات . عند اجراء هذه التفاعلات في وسط مائي يبلغ تركيز الماء خمسة وخمسين (٥٥) مولار . وفي التركيز العالي يلعب الماء دورا مهما في تثبيت موضع توازن التفاعل .

بوسع الماء أن يعمل كحامض وكقاعدة ، ويقوم بكل الدورين في العمليات البيولوجية . يعمل الماء كقاعدة ضعيفة ويتقبل بروتونة (proton) من تفكيك مجموعات حامض الكربوكسيل .



وفي برتنة (protonation) الامونيا يعمل كحامض ، أي انه يقوم بتوريد البروتون



وفي تحفيز عملية التغير النظري (mutarotation) للامونيا يعمل بكلتا الصفتين أي كحامض وكقاعدة .

ان كون الماء سائلا ابدا في درجات الحرارة الاعتيادية يعود في الواقع الى أحد خواصه الأبرز . ان الماء لا يتواجد كجزيئات مفردة في الظروف العادية العادية ، انما هو بالاحرى عرض أو تفنيد جزيئي بيني للجزيئات مرتبطة معا بأربطة هيدروجينية . ويمكن لجزيئة من الماء أن تشترك في تكوين اربعة روابط هيدروجينية كحد اقصى ، وهذه الشبكة الرابطة هي التي تمنح الماء درجة غليان عالية بالرغم من بساطة جزيئته . انما اذا كان

H_2O يملك خواصاً أكثر شبيهاً بتلك الهيدريدات (hydrides) العناصر الأخرى من المجموعة ١٦ (VIA) للجدول الدوري، $H_2Te \cdot H_2Se \cdot H_2S$ فلم تكن درجة غليانه ($^{\circ}100$) مئوية ، بل (-81°) مئوية (أي ناقص واحد وثمانون مئوية) .

والماء من المواد القليلة التي تتمدد عند التجمد ، وتجعل الحالة الصلبة أقل كثافة من السائلة . لكن لو أنه كان يسلك كأغلب المواد ، فإن الثلج أو الجليد ، بدلا من العموم ، كان سيفوص ، وكانت البحيرات لتتجمد صلبة أثناء الشتاء، وفيما تراكم الجليد في قاع البحار كان حجم أو محتوى الماء سيصبح أقل وأكثر ملوحة بالتزايد . وصفة أخرى للماء هي قدرته العالية فوق العادة لتقبل الحرارة وهذه تعمل كمهدئ للبيئة البيوكيميائية الباطنية . ومن المعقول امكان تواجد للحياة بدون هذه الصفات الخاصة للماء، رغم ان انعدامها كان بالتأكيد سيخلق مشاكل جديدة-كلية.

لكن كل هذه السمات تعود الى الصفة الوحيدة للماء التي تجعله يتعدر الاستغناء عنه للحياة . أن قدرة الماء على تشكيل تنضيدة من اربطة هيدروجينية قوية مع ذاته هي صفة او خاصية لها تأثير عظيم على المنظومات البيولوجية . فالكثير من الاسناد الذي يمسك البروتينات المعقدة معا في ترتيبها الثالثة أو الثالثوية (tertiary) متأت من بنية (الماء) اللازمة حولها . ثم ان العلاقة أو الصلة الخاصة بين الماء والدهنيات هي التي خلقت السمات المألوفة للخلايا . وبعدم تمازجهما يملك الماء والدهنيات فاصلا بينها يتيح مجالا من التماس للتفاعل بين المواد اللامتشابهة او المتناقضة (dissimilar) كانت لتعجز عن التفاعل اعتياديا في نظام فردي الطور، ويجعل التحفيز أو الكتلة (catalysis) ممكنة .

تشكل الدهنيات فئة من المركبات العضوية مقاومة الذوبان أو تذوب قليلا في الماء ، ولكنها تذوب في محاليل عضوية مذيبة للدهنيات . والحوامض



الدهنية تريغليسريد او ثلاثي الغليسريد (triglycerides) ، والفوسفودهنيات (phospholipids) والجليكو دهنيات (glycolipids) تنتمي الى هذه الفئة من المركبات. تصبح للدهنيات المتضمنة للسلاسل البرافينية كالحوامض أو مشتقاتها مقاومة للذوبان عندما تتجاوز السلسلة الدهنية (fatty acids) الاليفاتية حوالي أربع وحدات من الميثيلين (methylene) ، وذلك لأن تشبيكة الماء الممتدة من النهاية القطبية لجزيئة الدهنية عند هذه النقطة تعجز عن احتواء أو تغمد الرفل الهيدروكربوني (hydrocarbon tail) فتبقى الدهنية مقاومة للذوبان . ولما كانت متنافرة من الماء فانها تنحجب من بنية الماء وتمتزج أو تأتلف ببعضها، وهذه الخاصية الطبيعية الملموسة للدهنيات تجعلها حيوية الضرورة لتكوين الخلية.

تتألف الخلية من تربية محكمة أو مكتنزة من الجزيئات البيوكيميائية مغلفة في غشاء شبه ترشيحي، والغشاء طبقة ثنائية من الفوسفوردهنيات مع بروتينات وثيقة الصلة به في تربيئات مختلفة ، بما في ذلك الارتباط بالنهايات القطبية للدهنيات في الفاصل البيني للماء - الدهنية . لكن بما ان الخلايا تتواجد في البيئات المائية فأنها لها سمات عديدة لا تسد احتياجاتها الا الدهنيات فقط .

والخلية غير قابلة للذوبان ، وحتى المواد الشديدة المقاومة للذوبان تنحل فيها الى حد اشباع الوسط الذي يكتنفها . فاذا كانت الخلية ذات غشاء ليس كليا مقاوما للذوبان ، فستكون النتائج تدميرية ، لأنها ستظل تواجه خطر الابداء بالذوبان والانحلال .

اضافة الى كون الغشاء مقاوما للذوبان ، يتوجب ايضا أن يكون منافرا للماء، لأن حجب الماء هو الذي يجعل الدهنيات تجتمع معا لخلق طبقة ثنائية تعمل كمستوى الاتصال بين المقاصير المائية المختلفة . والدهنيات ،



زيادة على ذلك ، أخف وزنا من الماء بينما المركبات البيولوجية أكثر كثافة من الماء بقليل، وعند امتزاج الدهون بالمركبات الأخرى يمكن أن تداني كثافة المزيج الناتج كثافة الماء.

إن الفوسفودهنيات جوهرية الضرورية ومتواجدة في جميع المنظومات البيولوجية . تتخذ الفوسفودهنيات ذاتيا تضيصة معينة في الماء بحكم احتوائها على نهاية قطبية تتفاعل مع جزيئات الماء وسلاسل الهيدروكربون المحجوبة عن الماء . وعند ترجيح أو خض خليط من الفوسفودهنيات والماء تتكون جسيمات كروية صغيرة تسمى بالدهنوسومات (liposomes) تتراصف الجزيئات الفوسفودهنية في باطنها بطبقات مزدوجة مع سلاسل الهيدروكربون مؤتلفة وتمتد مجموعات الفوسفات القطبي الى الخارج بالاشتراك مع الماء . يمكن تكوين الدهنوسومات في مسلسل من الطبقات المزدوجة المتداخلة ، كل منها على هذا المنوال . هناك ما يشبه بالتجمع الذاتي يقوم بخلق تضسيد للمواد في باطن الكرة ويمنع انتشار الايونات والجزيئات عبر حاجز الدهنية ، وهو يتكون تلقائيا مع الفوسفودهنيات في الماء، وهو سمة ثابتة في جميع المنظومات البيولوجية.

يبدو ان الحد الأدنى من المتطلبات اللازمة لظهور خلية وظيفية يتألف من تسعة عناصر جوهرية ، وبيئة مائية ملائمة، وتكون حوامض النويك الصغيرة كالألب والهضميتيدات والفوسفودهنيات . تتكون حوامض النويك من انصاف بيورينات وبيريميدينات وريبوزات ، وهضميتيدات الحوامض الامينية ، وفوسفودهنيات الغليسول الدهني، ووحدات فرعية صغيرة عديدة أخرى . وهذه هي لبنات بناء الجزيئات الضخمة والبنى لمتعضية حية.



لكن العضلة هي ان جميع لبنات البناء هذه لتنشئة متعضية حية تأتي من مصدر واحد فقط، وذلك هو متعضيات حية أخرى. وهكذا نجد أنفسنا قد عدنا الى البداية . فاذا كانت لبنات البناء لتشييد منظومة حية تأتي فقط من منظومات حية أخرى، كيف اذن جاءت الخلايا الاولى الى الوجود؟



الفصل السابع عشر - البحث عن البنات البنائية

في عام ١٨٠٧ عندما قام برزيليوس بتعريف المركبات العضوية بصفتها منتجات المنظومات البيولوجية كليا دون غيرها، كان مصيبا الى حد كبير، ولم يكن قيام تلميذه فريدريش فوهلر في عام ١٨٢٨ بتمثيل اليوريا من سيانات الامونيوم (ammonium cyanate) اكثر من سوق الادلة الايضاحية الثبوتية على امكانية تمثيل المركبات العضوية من كيميائيات لا عضوية . لكن، بدون يد الانسان التوجيهية بقيت المركبات العضوية ضمن نطاق البيولوجيا . نشأت الكيمياء العضوية كفرع من الكيمياء اللاعضوية وبدون منازعة الحقيقة القائلة ان المركبات البيولوجية يتم انتاجها في الطبيعة فقط من قبل المتعضيات الحية.

لكن آنذاك جرى ابطال مبدأ التولد التلقائي، الفكرة القائلة بأن الحياة الميكروبية نشأت تلقائيا ، وذلك بقيام لويس باستور في عام ١٨٢٧ باجراء بضع تجارب بسيطة . وحتى الاعتقاد بأن الحياة مردها قوة حيوية لا شأن لها بالجماد كان قد بدأ يفقد اتباعه ازاء اتساع واتضاح كيمياء المنظومات البيولوجية . غير ان هذا النبذ للمعتقدات والمبادئ القديمة قبل الاستعاضة عنها بجديدة خلق ثغرة حادة في مفهوم العلوم للعالم الملموس، وبقي أصل الخلية البدائية سراً دفيناً مغلقاً اذا أمكن تعريف جميع الكائنات الحية بمنطوق الخلية البيولوجية ، والخلية هي وحدة وظيفية من المركبات الكيميائية وعملياتها التفاعلية ، كيف اذن جاءت الخلايا الاولى الى الوجود في الارض البدائية؟

ولاسيما، كيف تمكنت الخلايا الحية الاولى من الحصول على الحوامض الامينية التي تصنع بروتيناتها؟ فمتى ما تمكنت الخلايا من تمثيل البروتينات



يصبح بمقدورها انتاج الانزيمات التي كانت بمثابة المفتاح للماكنة البيولوجية بأسرها . لكن جميع الحوامض الامينية الموجودة في الطبيعة تأتي من نبات او حيوان او ميكروب في زمن او آخره . وحتى لكي تتمكن النباتات من استخدام ثاني اوكسيد الكربون ، والفلات ، والماء ، لاتتاج الحوامض الامينية، والسكر، والدهنيات ، سيلزمها حشد معقد من الانزيمات والبنى الخلوية . في الاحوال الجيولوجية القاحلة العقيمة للارض ما قبل البيولوجية كان من غير المعقول البتة تصور كيف ابتدأت حتى ايسر اشكال الخلية البدائية . وظلت هذه المعضلة تقض مضجع العلماء طوال أكثر من قرن واحد .

من بين أقدم المحاولات لصوغ جواب للمعضلة كانت محاولة الفسيولوجي الالماني العظيم ادوارد بفلوغر (Eduard Bflüger) . ففي ورقة بارعة قام بنشرها في عام ١٨٧٥ طرح بفلوغر^(١) ان المركبات العضوية البسيطة ربما تكونت من فلات لا عضوية بفعل الاحوال الطبيعية للارض البدائية ، وأشار، استنادا الى المعرفة الكيميائية المتوفرة قبل مائة عام، الى أن البوتاسيوم والكاربون ينتجان سيانيد البوتاسيوم (potassium cyanide) عند تسخينها معا الى درجة عالية في الهواء ، وعلى لربما ان العواصف الرعدية كانت قد فعلت نفس الشيء . أدرج في ورقته عدة تفاعلات أخرى توضح كيف يمكن انتاج المركبات العضوية من مواد لا عضوية ، وأن عند تسخين ثاني كبريتيد الكربون (carbon disulfide) مع كبريتيد الهيدروجين (hydrogen sulfide) نحصل على الاثيلين ، وكما كان برثيلوت (Berthelot) قد وجد، ان الميثان والكاربون والهيدروجين تتفاعل تحت التفريغ الكهربائي لتعطي الاستيلين الذي يمكن أكسدته الى حامض الاوكساليك (oxalic acid) . عند تسخين أول اوكسيد الكربون مع هيدروكسيد البوتاسيوم يتكون لدينا فورمات

البوتاسيوم (potassium formate) ، ومن تقطير الفورمات استحصل بفلوغر على الميثان ، والاثيلين، والبيوتلين (butylene) والاميلين (amylene) ومماثلات اعلى. عند تسخين فورمات الامونيوم، تكون منها سيانيد الهيدروجين. كما ان تمرير الامونيا فوق الكربون المتوهج اسفر عن تكون سيانيد الامونيوم. كان معلوما ان السيانيد مركبات تفاعلية ، ولذلك افترض بفلوغر ان السيانيد تنضي الى البروتينات، وطرح تصورا ان اصل الحياة سبقت فترة وسيطة كانت المركبات العضوية عديمة الحياة تتبلر أثناءها لتصبح بروتينات ذات طبيعة حية.

للاسف ان بفلوغر عاش في زمن كانت البنية الاولى لله وتنت لا تزال قيد التحديس. طرح نظرية للبروتوبلازما يقول فيها انه يظن ان النيتروجين كان في الاكثر بشكل السيانوجين. لكن عندما سقطت نظرية سيان - بروتين (cyan-protein) لفلوغر ، سقطت معها نظريته حول اصل الحياة ايضا ، وانقضى زهاء الخمسين سنة قبل ظهور اية نظرية هامة حول أصل الحياة.

في عام ١٩٢٢ طرح البيوكيميائي الروسي اوبارين (A.J. Oparin) نظرية الى الجمعية النباتية في موسكو حول الالتئام الذاتي للمركبات العضوية اللاحيديوجينية التكوين (abiogenetically formed) كطلائع (precursors) للخلايا الاولى. وقد نوّظ ان هذه الطلائع كانت قد نشأت بالاغتذاء على المركبات العضوية اللاحيوية حتى تطورت الى نقطة امتلاكها القدرة على تمثيل بيوكيميائياتها بنفسها. اقترح اوبارين ان الهيدروكربونات (hydrocarbons) كانت المركبات العضوية الابتدائية التي تكونت بتفاعل الماء وكاربيدات المعادن (metal carbides) الموجودة في لب الارض الحديدي. عند التقاء الكاربيدات والبخار في سطح الارض نشأت عنهما الهيدروكربونات. قال انها كانت ستحترق بفعل الاوكسجين في الهواء لكن



٢

التفاعل لم يكن ليكون تاما بحيث ان اول اوكسيد الكربون ومشتقات الاوكسجين من الهيدروكربونات والكحول والالدهايد والكيون وحوامض الكربوكسيليك تكونت بالنتيجة ، واعتقد ان مركبات النيتروجين كانت مشتقة من السيانوجين المتكون من تفاعل نترت المعادن (metal nitrites) مع الهيدروكربونات . قام بنشر نظريته في عام ١٩٢٤^(٢)، وتبعها طبعة منقحة في عام ١٩٣٦^(٣).

كان أوبارين متأثرا بأراء عصره القائلة ان الارض كانت في مرحلتها الاولى ذائبة وان الجو بقي جوهريا كما هو بدون تغيير عبر دهور التاريخ، عندما ابدى العالم الوراثي (geneticist) البريطاني جيه بي اس هالدين (J.B.S. Haldane) تأييده لنظرية النشوء الكيميائي في عام ١٩٢٨ افصح عن فكرة جو خال من الاوكسجين . بالنسبة الى هالدين ان قوى الضوء ما فوق البنفسجي الفاعلة على الماء وثاني اوكسيد الكربون والامونيا خلقت تنويعا من المواد العضوية تراكت في البحار البدائية حتى بلغت قوام «حساء مخفف حار».

ان ادراك هالدين ان الجو الخالي من الاوكسجين كان المفتاح الى تمثيل المركبات العضوية كان بلاءا باهرا للتبصر في غياهب اصل الحياة . لكن الغريب في طبيعة الانسان هو النزوع الى جعل صيغة العبارة الفاتنة تهيمن على تفكيره، فأصبح الحساء المذوق الحار لهالدين «الحساء البدائي» . وانتشرت هذه العبارة وتعمت على نطاق واسع طوال أكثر من خمسين سنة دونما أي اثبات جيولوجي على صحتها في الواقع مطلقا.

لم يكن يؤخذ عموما قبل هالدين بفكرة نشوء الحياة في بيئة منقوصة او مختزلة ، وكان الاجماع سائدا على ان الاحوال المؤكسجة القائمة اليوم كانت ضرورة لا بد منها للحياة وان الحياة نشأت في هذه الاحوال . لكن



باستور اكتشف اثناء دراسته للتخمر ان الحياة ممكنة بدون اوكسجين وطرح
حشدا من المتعضيات اللاهوائية التي كانت تؤايض المواد بدونه. وعندما وجد
هالدين في عام ١٩٢٨ ان عمليات التخمر التايضية للمتعضيات الحية كانت
كلها مماثلة، بينما التفاعلات التأكسدية كانت في الاغلب مختلفة، خلص الى
ان التايض اللاهوائي كان الاكثر بدائية، وطرح ان المتعضيات الحية الاولى
كانت لا هوائية كان مصدرها من الطاقة للتايض المواد الشبه مستقرة
(metastable) الناتجة عن فعل الضوء ما فوق البنفسجي القادم من الشمس.

ولم يكن حتى عام ١٩٢٩ ان تم الاكتشاف ان الهيدروجين هو العنصر
الاكثر غزارة في الكون^(٥). بدا واضحا ان جو الارض المؤكسج لا يمكن ان
يكون هو نفس غلافها الغازي الاصلي في كون يتألف معظمه من الهيدروجين.
وعليه فقد كان هناك طريقتان لاتاج الاوكسجين الطيق، أما بالتفكيك الضوئي
للماء في أعالي الجو او بالتمثيل الضوئي، وبديء الآن بأدراك اهمية المتعضيات
الضوء تمثيلية المولدة للاوكسجين في نشأة البيئة الارضية. قام اوبارين
بإضافة اشارة الى أصل الارض اللاهوائي في الطبعة المنقحة لكتابه، ويسود
الاعتقاد في العموم الآن ان نشأة الحياة على الارض خلقت الحالة المؤكسدة
للجو والبحار.

في أعقاب الحرب العالمية الثانية بدأت فكرة امكان تفسير نشأة الحياة
بكيمياء الارض البدائية تجتذب الانصار. وكانت التحديثات تشير الى ان
الحياة نشأت في وسط عضوي ما قبل الحياتي. غير ان عقدة المشكلة كانت
ايجاد شرح معقول لكيفية امكان اتاج المواد العضوية من الغازات والاملاح
والفلزات اللاعضوية قبل تواجد أية منظومات بيولوجية. لما كانت النباتات
تنتج المركبات بأختزال ثاني اوكسيد الكربون، فإن أحد السبل الى ايجاد
الحل كان القيام بأنجاز هذه العملية بوسيلة من الوسائل المادية. لكن حتى

إذا أمكن الحصول على مركبات صغيرة ، فإن هذه بدورها سوف يلزم تكثيفها الى سلاسل طويلة قبلما يمكنها أن تتمخض عن خلية وظيفية • في عام ١٩٥١ ، قام جيه دي برنول (J.D. Bernall) وهو خبير كريستالوغرافي وفيزيائي من جامعة لندن بوضع مؤلفه: «الاساس المادي للحياة: "The Physical Basis of Life"» ذكر فيه ربما ان الامتصاص في أسطح الاطيان الصلصالية كان وسيلة لتركيز وبلورة مركبات ما قبل حياتية بسيطة •

لم تكن التكنولوجيا التحليلية آنذاك قد بلغت المستوى الذي اتاح تحليل الكيمياء المعقدة للخلية • كانت حوامض النويك معروفة ، لكن اهميتها بالضبط كانت لم تزل غير اكيدة ، وكانت البروتينات تعتبر المادة الاولى للحياة • ثم جاء جهاز الفرز أو النبد المركزي الفائق السرعة (Ultracentrifuge) ليتمكن البيوكيميائيين من التثبت ان للبروتينات اوزانا معينة، لكن ما اذا يمكن اعتبارها مركبات متوحدة متسقة مثل الكيمائيات العملاقة بقي موضع الارتياح، لكنها كان لها خصائص غروانية^(٧) (colloidal) لم يجر الاعلان عن اول بنية أولية تامة للبروتين الى أن قام سانغر^(٨) (sanger) برسم سياق الانسولين (insulin) في عام ١٩٥٣ ، وهو انجاز كان العديد من البيوكيميائيين حتى ذلك الوقت سيعتبرونه من باب المستحيل •

رغم ان فكرة نشوء الحياة عن مجموعة من التفاعلات الكيميائية في الارض البدائية كانت تروق للمنطق العلمي، فانه لم تكن توجد اية بيانات تجريبية لاثبات كيف كان ذلك ممكنا • وفي الوقت الذي كان لا يزال يجري تفسير عملية التمثيل الحيوي للبروتينات بمنطوق مفهوم افتراضي غامض متداول، فقد بدا ان امكانية تفهم كيف امكن نشوء شيء معقد للغاية كالخلية الحية من الفلزات اللاعضوية على الارض البدائية كان حقا بعيدا عن المنال •

في عام ١٩٥١ قامت مجموعة من بركلي برئاسة ملفن كالفن^(٩)



(Melvin Calvin) بمحاولة لاختزال ثاني اوكسيد الكربون باستعمال جهاز السيكلوترون (cyclotron)، وهو جهاز استتبط لتسريع الجسيمات الذرية لدراسة نواة الذرة . كانت هذه تجربة يتم فيها افتعال او تقليد آثار الاشعاع من قشرة الارض على مكونات الارض البدائية لضرب المثال على النشأة اللاحيوية للمواد العضوية . وعند قصف خليط من ثاني اوكسيد الكربون في الماء مع قدر محفز من ملح الحديد الثنائي التكافؤ بأيونات الهليوم بقوة اربعين مليون الكتروفولت (40meV) من السيكلوترون قطر (٦٠) بوصة، كانت الكيمائيات الناتجة تحويلا بنسبة عشر بالمائة (١٠٪) الى الفورمالديهايد . اثبتت التجربة على حصول بعض الاختزال . غير ان النتائج كانت غير مقنعة لدرجة ان الهوة بين الارض اللاعضوية والبروتينات بقيت واسعة ومكثبة.

بعد عامين من ذلك ، في ايار من عام ١٩٥٣، قام ستانلي ميلر^(١٠) بنشر نتائج تجربته بالتفريغ الكهربائي . وخلال سنة اعلن فريدريك سانجر (Frederick Sanger) عن البنية البدائية للانسولين ، وهو أول بروتين يتم التثبيت من سياق حوامضه الامينية مطلقا . وفي حوالي نفس الفترة قام جيمز واتسون وفرانيسيس كريك^(١١) (James Watson and Francis Crick) بالبرهنة على ان الاساس الكيميائي لطبيعة الحياة التكاثرية او التناسلية كان حامض النوويك المزدوج اللولبية .

اتبع ميلر تجربته الاولى بتنويعات حول تركيبة خليط الغاز وبتحليل تفصيلي للمواد الناتجة عن التفاعل^(١٢) . كان قدر كبير من الناتج مادة قارية غامضة ، وكان غلايسين (glycine) الحامض الاميني المنتج بأكبر قدر (٢١) بالمائة) مينا على الكربون . ومن بين القائمة الطويلة للمنتجات المتولدة عن التفاعل ، كانت أربع منها فقط حوامض أمينية تقع في البروتينات .



Table 17.1. Yields from sparking a mixture of CH₄, NH₄, H₂O and H₂.

Compound	Yield (pM)	Yield %
Glycine	360	2.1
Glycolic acid	560	1.9
Sarcosine	50	0.25
Alanine	340	1.7
Lactic acid	310	1.6
N-Methyl alanine	10	0.07
α-Amino-n-butyric acid	50	0.34
α-Aminoisobutyric acid	1	0.007
α-Hydroxybutyric acid	50	0.37
β-Alanine	150	0.76
Succinic acid	40	0.27
Aspartic acid	4	0.024
Glumatic acid	6	0.051
Iminodiacetic	55	0.37
Iminoaceticpropionic acid	15	0.13
Formic acid	2,330	4.0
Acetic acid	150	0.51
Propionic acid	130	0.66
Urea	20	0.034
N-Methyl urea	15	0.051

Note: 59 moles (710) of carbon were added as CH₄. The percent yields are based on carbon.

Source: Stanley L. Miller and Leslie E. Orgel, *The origins of Life on the Earth* (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974), p. 85.

الجدول ١٧/١ - حصائل من خليط شرارة من CH₄, NH₄, H₂O, H₂ ملاحظة
اضيفت ٥٩ مولة (٧١٠) من الكربون بمثابة CH₄ والنسب
النسبة للحصائل مبنية على الكربون.
على الأرض، ص ٤٥.
المصدر: ستانلي ايل ميلر وليزلي ئي اورجيل في: اصول الحياة

قام ميلر بدراسة آليات تجربة التفريغ الكهربائي واكتشف أن سيانيد الهيدروجين (HCN) والالدهايد (aldehydes) كانت المتوسطات (intermediates) النشيطة التي تكونت في التفاعل . فاستنتج من هذا ان المتوجات كانت قد اصطنعت بفعل تفاعل ستريكر (strecker reaction) وهو اقدم الاساليب المعروفة لتمثيل الحوامض الامينية . ولاختبار هذه الفرضية قام باختبار خليط من سيانيد الهيدروجين والالدهايد والهيدروجين والامونيا بأغلائها في الماء لمدة اسبوع واحد . تم الحصول على منتوجات مماثلة لتلك التي تكونت بتجربة الشرارة أو التفريغ الكهربائي، وذلك بمقادير لا يستهان بها ، مؤيدة آراءه عن الآلية.

كان قد تواجد عدد من مصادر الطاقة على الارض البدائية تمكنت من الاسهام في تمثيل المركبات العضوية . ومن بين الاكثر أهمية من هذه كان الضوء ما فوق البنفسجي من الشمس ، والتفريغات الكهربائية في الجو ، والنشاط الاشعاعي في التربة ، والطاقة الحرارية وبين هذه كان الاشعاع ما فوق البنفسجي من ضوء الشمس المصدر الاكبر الى حد بعيد .

واليوم تقوم الطبقة الاوزونية بحجب كل اشعاع يقع دون كثافة (٣١٥) نانومتر . لكن الدفق الشمسي كان ينصب على الارض البدائية بشدة عتيفة ويؤثر بقوة على الجو البدائي . لما كان امتصاص الميثان يمتد الى (١٤٥) نانومترا ، والماء الى (١٦٥) نانومترا ، والامونيا (٢٢٠) نانومترا، فان التفكيك الضوئي لهذه الجزيئات كان يحصل بهذه الموجات القصيرة للاشعاع ما فوق البنفسجي، لخلق جذر او جذريات (radicals) كيميائية شديدة التفاعل . من المؤسف، توجد عوائق تقنية تحول دون استخدام الضوء ما فوق البنفسجي في المختبر لافتنال تمثيل المركبات العضوية في الجو البدائي، ولم تجر غير بعض التجارب بأطوال الموج المتوفرة فقط (١٣).



Table 17.2. Boiling of H_2 , NH_3 , HCN , $HCHO$, CH_3CHO , C_2H_5CHO and H_2O for one week.

Reaction product	Moles $\times 10^5$	Yield Percent
Glycine	98	16
Alanine	129	35
α -Aminobutyric acid	27	23
Glycolic acid	72	12
Lactic acid	42	12
α -Hydroxybutyric acid	15	13
Iminodiacetic acid	56	18
Iminoaceticpropionic acid	45	

الجدول ٢/١٧ - تغذية

H_2O , C_2H_5CHO , CH_3CHO , $HCHO$, HCN , NH_3 , H_2

لمدة اسبوع واحد.

كان فيليب ابلسون^(١٤) (Philip Abelson) من معهد كارنجي بواشنطن أول من حقق امكانية تمثيل الحوامض الامينية بالتفاعلات الكيميائية توضحية. عندما قام بتعريض محلول فورمات الامونيوم وهيدروكسيد الامونيوم وسيانيد الصوديوم وكبريتات الحديد الثنائي التكافؤ لاشعاع بموجة طولها (٢٥٤) نانومترا، حصل على الفليسينونتريل (glycinonitrile) الذي تحلأ الى غلايسين. قام آخرون باجراء التجارب باستعمال خلاط غازية مع اطوال موج ما فوق البنفسجي متعددة اسفرت عن تكون حوامض امينية أخرى^(١٥)، وتم تشخيص الغلايسين، والالانين، واللوسين، كمنتجات من تسليط الاشعاع على الميثان والامونيا والماء وأول اوكسيد الكربون، في ما بين (١٤٥) (١٨٠) نانومترا من الاشعاع^(١٦). وكانت الحوامض الامينية المتكونة محل الصوء ما فوق البنفسجي في العموم هي تلك المستحصلة من تجارب حريق الكهربي.



Table 17.3. Present sources of energy averaged over the earth.

Source	Energy (Calories/cm ² /year)
Total radiation from the sun	260,000
Ultraviolet light	
< 300 nm	3,400
< 250 nm	563
< 200 nm	41
< 150 nm	1.7
Electric discharges	4
Cosmic rays	0.0015
Radioactivity (to 1.0 km depth)	0.8
Volcanoes	0.13
Shock waves	1.1
Solar wind	0.2

Source: S.L. Miller, H.C. Urey, and J. Oró, Origin of organic compounds on the primitive earth and in meteorites, J. Mol. Evol. 0, 59-72 (1976).

المصدر : إس ايل ميلار وايج سي يوري وجيه أورو . مصدر المركبات العضوية في الأرض البدائية وفي النيازك، مجلة النشوء الجزيئي ٩، ص ٥٩-٧٢ (١٩٧٦)

رغم أن الضوء ما فوق البنفسجي لربما كان مصدر الطاقة السائد لتمثيل المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، كان أغلبه بموجات طويلة لا تتفاعل مع الغازات المستعملة لافتحال الجو البدائي إلا أن كارل ساغان ويشون خاربه (Carl Sagan and Bishun Khare) لاحظا أن الهيدروجين ، والميثان ، والامونيا ، والماء ، والايثان ، وربما أيضا أول اوكسيد الكربون والنيتروجين ، جميعها كانت شفاقة كليا للضوء ما فوق البنفسجي يربو على (٢٤٠) نانومترا ، لكن كبريتيد الهيدروجين له تسلسل أو استمرارية امتصاص

واسعة تبدأ في حوالي (٢٧٠) نانومترا . اذن كان بإمكان كبريتيد الهيدروجين أن يعمل كمتقبل فوتون ابتدائي لالتفاف طاقة ضوء ما فوق البنفسجي الطويل الموجة وابتدار تفاعلات كيميائية . وجد ساغان وخاربه^(١٧) في تجارب الافتعال أن تواجد كبريتيد الهيدروجين مع الغازات المعرضة للضوء ما فوق البنفسجي بقوة (٢٥٤) نانومترا انتج حوامضا امينية ، واثبتا ان غزارة الضوء ما فوق البنفسجي في منطقة الموج الاطول من الطيف لربما كانت أحد المصادر الرئيسة للطاقة لتمثيل المركبات ما قبل الحيوية.

وبوسع الاشعاع المؤين ايضا أن يعمل كمصدر للطاقة . فقد تكونت حوامض امينية^(١٨) عند تعريض خليط من الغازات تفتعل الجو البدائي الى الاشعة السينية وأشعة غاما . غير ان مصدر الطاقة هذا لا يعتبر مساهما ذا أهمية في تمثيل المركبات ما قبل الحيوية ، لأن أغلب التآين كان ليحصل في الصخور السيليكاتية وليس في الجو .

ظهر تشكيك في أهمية الانشطة البركانية في تمثيل الحوامض الامينية . عند تسخين خليط من الغازات يفتعل الجو البدائي لدرجة حرارة الف ومائتين (٥١٢٠٠) مئوية باستمرار لا تتكون اية مركبات عضوية ويقتصر الناتج على توازن الغازات فقط . غير انه اذا تم تمرير الغازات ببطء فوق لآبار ذائبة أو منصهرة ومن ثم اطفأها بسرعة ، يجري تمثيل تنويعا من الهيدروكربونات . وبهذه الطريقة يجري تكوين الفيل استيلين (phenylacetylene) ، وهو الطليعة الى الفيل الانين والتيروسين^(١٩) ، والاندول indole وهو طليعة التربتوفان^(٢٠) (tryptophan) . هذا التفاعل يقدم طريقة كان يمكن بها حصول الحوامض الامينية العطرية (aromatic amino acids) في ما قبل البيولوجية . لكن لربما ان هذه الحوامض الامينية لم تكن قد أصبحت جزءا من المنظومات البيولوجية الي أن تم تمثيلها بيوكيميائيا .



ومهما بدا غريبا ، فإنه من ضمن المعقول ان تكون الموجات الصدمية من المصادر الرئيسة لانتاج الحوامض الامينية . لقد قام أي بار-نان^(٢١) (A. Bar-Nun) وزملاؤه بضرب امثلة ايضاحية بغازات تفتعل جوا بدائيا بان في انبوبة صدم (shock tube) ترتفع درجة حرارة مقدمة الصدمة فيها الى ما بين الف والفي (١٠٠٠-٢٠٠٠°) درجة كلفين (Kelvin) ضمن (١٠ ١) ثانية، مع الاطفاء السريع ، يحصل تحويل عال للغازات الى حوامض امينية. احتسب الخبيران دفع الصدمة السنوي من نيازك المذنبات والنيازك المجهرية والرعد. ووجد انه يبلغ بالتقريب سرعة (calorie) واحد بالسنتيمتر المربع . وعلى نقيض هذا كانت الطاقة من ضوء الشمس ما فوق البنفسجي دون كثافة (٣٠٠) نافومتر لتبلغ حوالي الف (١٠٠٠) سرعة بالسنتيمتر الواحد . لكن موجات الصدمة اكثر كفاءة بمليون مرة من الضوء ما فوق البنفسجي لانتاج الحوامض الامينية . وبهذا الصدد ، كان سيتمكن توليد حوامض امينية بأموال الصدمة (١٠٠٠) مرة أكثر مما بأغزر مصدر للطاقة ، وهو الضوء ما فوق البنفسجي.

توحي هذه التجارب المختلفة الى وسط كان يجري فيه انتاج المركبات العضوية أو طلائعها في جو بدائي فتمطر هائلة لتتراكم في البحار الشابة ، وبأغتسال العديد من المركبات المتفاعلة الى منخفضات أو احواض ضامة حصلت التفاعلات لتوليد المزيد من المواد الاضافية . كانت هذه صورة جديدة ومثيرة للكيمياء التي حصلت على الارض قبل أن تتواجد الحياة عليها . ولم تعد نشأة الحياة ينظر اليها بمنطوق مواد لا عضوية غريبة في وسط جيولوجي يفضي الى قيام بنية لا بيولوجية تحتم عليها عبور تطور لا محدود قبل امكن تكون خلية حية، فان المركبات ما قبل الحيوية المطلوبة لتشييد منظومة بيولوجية كانت الحوامض الامينية المألوفة لدى كل دارس للبيوكيمياء.

بعد انقضاء ثلاثة عقود من السنين ، من الممكن وضع تجربة ميلر في منظور أفضل بالنسبة الى نشأة الحياة • كان جو يوري (Urey) المتألف من الميثان والامونيا يعتبر الجو البدائي للارض اكتسبته عندما تكونت المنظومة الشمسية • لكن يوجد فيض من الشواهد للدلالة على ان الجو الاصلي كان قد ضاع وتعوض من الغازات المنبثقة من باطن الارض • اذن يبقى السؤال بأي حال اختلف الجو الثاني عن الاول؟

لقد بينت الدراسات ان تركيبة الغازات البركانية تتألف بوجه رئيس من الماء وثاني اوكسيد الكربون مع قدر كبير من الهيدروجين^(٢٢) • يصدر الكلوريد ، بصفته المادة الاكثر غزارة ، بمثابة الحامض ، مثلما يفعل الكبريت ، والنيروجين موجود بوجه رئيس كالعنصر • لم يمكن ان تتواجد الامونيا في الجو بأي مقادير ملموسة • وقد اشار ابلسون^(٢٣) ان كمية من الامونيا تعادل النيروجين الجوي الحالي كانت ستجرد بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي في حوالي (٣٠) الف سنة • وعلى نفس الفرار كانت اذابتها العالية في ماء لتخلق توازنا كله جوهريا بحالة السائل في البحار • وعليه، فان جو الارض البدائية تألف من فضلات أو ترسبات الغازات البركانية بعد تعادلها بين نظام الجو-البحر • ويحتاج ابلسون انه كان سيتألف من تركيبة قوامها بوجه رئيس اول اوكسيد الكربون وثاني اوكسيد الكربون والنيروجين والهيدروجين •

تتيح الطبيعة الجوهريّة لتجربة ميلر ليتألف جو الغازات الطلائع من أي تركيبة كانت على ما يظهر شريطة ان تكون اختزالية وان تتضمن مكوناتها الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيروجين • مع ذلك، لربما كانت كيمياء الجو من الغاز المنبثقة مماثلة لتلك في خليط الميثان والامونيا انما ليس نفسها • عند تعريض خليط من أول اوكسيد الكربون والنيروجين



والهيدروجين الى تفرغ كهربائي يأتي سيانيد الهيدروجين كالنتائج الرئيس مع لا شيء آخر تقريبا سوى دون اوكسيد الكربون $O=C=C=C=O$ carbon suboxide ، وثاني اوكسيد الكربون والماء^(٢٤).

لا يستطيع المرء تحقيق مسلسل الديهايدات المتوسط الى الحوامض الامينية بطريقة تفاعل ستريكر . بالنتيجة تصبح الكيمياء ما قبل الحيوية ليس «حساء» كما تصور ناشئا من جو من الميثان والامونيا ، وانما من سيانيد الهيدروجين (HCN)

يتعرض سيانيد الهيدروجين لتفاعلين اثنين مهمين . فهو يتحلل الى هيدروكسيد الامونيوم مع حامض النمليك، وفي سوائل قلوية قليلا (alkaline) يتكشف مع ذاته ليدر تنويعا من المركبات ذات اهتمام بيولوجي. والنتائج الرئيس من تكثيف HCN هو التترامر (tetramer) ، وحلماة التترامر تفضي

الى الغالايسين ، وقد أعلن جيه اورو (J. Oro) وأس كامات (S. Kamat) عن تحصيل مقادير صغيرة من الالانين وحامض الاسبرتيك عند تسخين سوائل بمقدار (٢٢ مولار) من السيانيد في درجة حرارة خمسة وسبعين (٧٥°) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما لكن هذا تركيز عال. فليتسنى لتكون التترامر ليتجاوز تفاعل الحلماة يلزم أن يكون تركيز سيانيد الهيدروجين لا أكثر من حوالي عشر (١٠) المولار. وهذا تركيز غير حقيقي لسيانيد الهيدروجين في الاحوال الطبيعية، انما كان ممكنا ان يكون اعتياديا لهيدروكسيد الامونيوم من حلماة سيانيد الامونيوم ، الذي كان يمكن تركيزه فيما بعد بالتبخير الجزئي للمحلول.

من الممكن أن يكون قد حصل تضاد لعامل التركيز هذا بفعل الضوء ما فوق البنفسجي . فقد وجد ابلسون ان سوائل او محاليل من ٠.٠٢ ر. -



١٠. مولار) من سيانيد الهيدروجين في 10^{-5} (PH) (٨-٩) تعطي عند
تعريضها الى ضوء بكثافة (٢٥٤) نانومترا خليطا يتحلماً الى غلايسين، وسيرين،
وحامض الاسبرتيك ، وحامض الغلوتاميك .

انطلقت المختبرات المختلفة في أعقاب تجربة ميلر تتابع البحوث بهمة
بالغة بغية التدليل على امكانية التمثيل اللاحيوي لأكبر عدد ممكن من الحوامض
الامينية البيولوجية العشرين (٢٠) . بالنتيجة تم الاعلان عن انتاج جميعها
في التجارب الافتعالية باستثناء اثنين منها هما الهستيدين (histidine) والأرجينين (٢٦)
(arginine) . اضافة الى هذه انتجت تجربة ميلر العديد من الحوامض الامينية
التي لا تستخدمها البروتينات .

يجوز ان تكون الحياة قد بدأت بأقل من هذا العدد بكثير . فمن أحد
الاجه، أن الكيمياء ما قبل البيولوجية المبنية على سيانيد الهيدروجين أكثر
بساطة ولربما أكثر انطباقاً بالصدفة الطرفية على نشأة الحياة . وعندما تتأمل
عملية التمثيل الحيوي ندهش حقاً من ضآلة عدد لبنات البناء الاساسية الموجود
في الواقع (٢٧) . بوسع البيروقات، والخلاطات، والكاربونات، في بعض المتعضيات
المجهرية ان تقدم كل الكاربون المطلوب للتمثيل :

serine	سيرين	leucine	لوسين
glycine	غلايسين	isoleucine	ايسولوسين
methionine	ميثونين	glutamic acid	حامض الغلوتاميك
cysteine	سيستين	lysine	لايسين
alanine	الانين	aspartic acid	حامض الاسبرتيك
valine	فالين	threonine	ثريونين
proline	برولين	arginine	ارجينين



يمكن أن ينشأ البيروفات والخلالات من تجريد السيرين ، ويمكن الحصول على الخلالات من البيروفات ومن حامض الملوئيك (malonic acid) ثم ان الفريدوكسين، الذي يعتقد انه من أقدم البروتينات في النشأة ، قد تم تكوينه على ما يظهر من سياق متكرر للالانين والسيرين وحامض الاسبرتيك والغلايسين، وهذه كلها حوامض امينية تنتج بأقصى السرعة والسهولة من سيانيد الهيدروجين.

أوضحت تجربة ميلر سهولة تكون لبنات البناء الحياتية واحتمالية تواجدها ما قبل الحياتي، وقد توفر عدد من مصادر الطاقة على الارض البدائية لانتاج المركبات البيولوجية. فكل ما مست اليه الحاجة كان خليطا من الغازات المختزلة ، وعلى نقيض هذا، لو كان الجو يتضمن الاوكسجين بالآصل ، والذي ظل الاعتقاد سائدا بضرورته لنشأة الحياة فترة طويلة ، لكانت الحياة لم تظهر الى الوجود مطلقا. لأن الاوكسجين كان سيغطي أي تفاعل يظهر قبل تمكنه من صنع اللبنة البنائية.

أبان ابلسون ان جوا يتضمن مقادير كبيرة من الميثان كان سيؤدي الى انتاج رواسب كبرى من المواد العضوية المنافرة للماء، ألا انه لم يتم العثور على مقادير كبيرة فوق العادة من الكربون أو المواد العضوية في الصخور السابقة لتاريخ أقدم المتعضيات . غير انه توجد مؤشرات الى عدد كبير من المركبات العضوية التي على ما يظهر تم تمثيلها في جو من الميثان والامونيا ، ليس في الارض البدائية وانما في السديم الغازي قبل تكون الارض.

لقد تم العثور على غازات هيدروكربونية بالقرب من بحيرة هورون في كندا وبمثابة قرارة اوختنك في الاتحاد السوفياتي في تشكيلات الصخور البلورية التي لا صلة لها بالصخور الرسوبية^(٢٨). اما المكامن العظمى للبتترول فهي بالحتم من اصل بيولوجي، انما عثر على لقايا في الاتحاد السوفيتي تشير

الى ان بعض قرارات البترول تنتسب الى اشتقاق لا حيوي تدل الانبثاقات
الغازية في هضبة خينسك في شبه جزيرة كولا الى تواجد الميثان
وهيدروكربونات اقل تنتمي على ما يظهر الى اصل صهاري، ورغم ان هذه
تعد بالمئات فنادر ما تتضمن هذه المصادر اية اهمية تجارية^(٢٩). يبدو ان هذه
المادة العضوية ليست من بقايا «الحساء البدائي» وانما ما تزال باقية منذ زمن
يمتد حتى الى ما قبل تواجد الارض . وهذه النظرية تنشأ من اكتشاف مواد
عضوية في النيازك الساقطة ومدعمة بها.



الفصل الثامن عشر - النوسيد والنوتيد والأتب

عندما أعلن ميلر عن تجربته بالتفريغ الكهربائي في عام ١٩٥٣ كانت كيمياء البروتين فرع البيوكيمياء الرئيسي المتقدم، وكان فرع البيولوجيا الجزيئية لا يزال حديث العهد. وكنيجة لهذا الاهتمام بالبروتينات وللسهولة النسبية التي امكن بها قياس مقادير دقيقة من الحوامض الامينية، تركزت الدراسات حول نشأة الحياة ابتدائيا على الحوامض الامينية. لكن البروتينات ليست، ولم يمكن في أي زمن مضى ان تكون، حياة بحد ذاتها. ان التكاثر البيولوجي في جوهره هو عبارة عن تناسخ جزيئي، وهو دور تقوم به حوامض النويك دون غيرها مطلقا. اين اذن كانت النوتيدات، لبنات البناء لحوامض النويك؟

ان النوتيدات مركبة من ثلاثة اصناف من الكيمائيات، هي قاعدة هيتروسيكلية وسكر وحامض الفوسفوريك، وهذه القواعد هي البيورينات الادين والفوانين، والبريميديات-السيستوسين، واليوراسيل، والثايمدين، والسكر هو اما ريبوز او دي اوكسي ريبوز (deoxyribose = ريبوز ناقص الاوكسجين). قبل التطرق الى تكون لبنات بناء الدنا يتوجب علينا أن نبحث التواجد ما قبل الحيوي لهذه المكونات البنيوية الثلاثة.

اوضحت تجربة ميلر الجسر الرابط بين المقومات الغازية لجو بدائي الى المواد العضوية للمنظومات الحية. على ما يظهر كانت عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكربون والنيتروجين حدثا شائع الحصول بفعل مصادر الطاقة الطبيعية في تفاعل كان الناتج المتوسط او الوسيط فيه سيانيد الهيدروجين. فإذا امعنا النظر في الدور المكين لسيانيد الهيدروجين بدلا من تركيز اهتمامنا في الحوامض الامينية، فان المشهد سينتقل الى مجال اوسع.



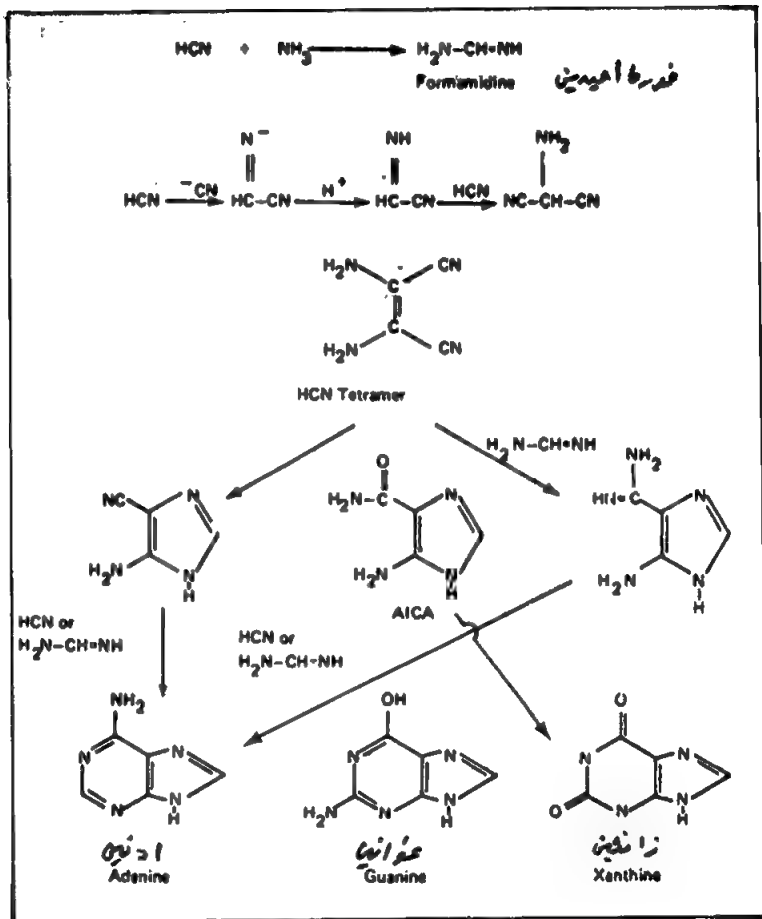
يتحلأ سيانيد الهيدروجين الى هيدروكسيد الامونيوم وحامض النمليك،
انما مزيدا من سيانيد الهيدروجين مع هيدروكسيد الامونيوم يفضي الى
سيانيد الامونيوم . كان يمكن أن يؤدي اغتسال السمادات البدائية في
بحيرات واحواض او منخفضات ضحلة مع تبخرات دورية حتى اليوس او ما
يدانيه الى تراكم مقادير كبيرة من هذه المادة الكيميائية وتركزها على ارض
حديثه العهد.

في عام ١٩٦٠ قام خوان اورو^(١) (Juan Oro) من جامعة هيوستن
بتسخين سائل مركز من سيانيد الامونيوم لمدة يوم واحد في درجة حرارة
قدرها تسعون (٩٠°) مئوية. وعندما قام بتحليل العينة فيما بعد بخاعن منتوجات
لها أهمية بيولوجية محتملة ، اكتشف انه كان قد قام بتمثيل الادنين ، القاعدة
الهيتروسيكليكية الرئيسة في حوامض النوويك والعديد من الانزيمات المساعدة
الهامة.

ظهر ان ٤-امينوإيميدازول (4-aminoimidazole) (AICA) وفورماميدين
(formamidine) كانا الوسيطين المحتملين . وفي تجربة تعقيية قام اورو
وكيمبال^(٢) (Kimball) بتسخين سائل (AICA) الى درجات حرارة تتراوح
ما بين مائة ومائة واربعين (١٠٠-١٤٠°) مئوية وحصلا على يورينتتين اثنتين
اخرين ، غوانين وزاثين (xanthine) ، كل منهما في حصيلة بنسبة قدرها واحد
ونصف بالمائة (١٥٪) . وفي تجربة اخرى مع اس اس كامات^(٣) (S.S. Kamat)
افضى تسخين سيانيد الهيدروجين مضافا الى ٣ عياري هيدروكسيد الامونيوم
في درجة حرارة سبعين (٧٠°) مئوية لمدة خمسة وعشرين (٢٥) يوما الى انتاج
الغلايسين والالانين وحامض الأسبرتيك بين المنتوجات الاخرى . وتم تأييد
هذا التمثيل للادنين والحوامض الامينية من سيانيد الامونيوم من قبل سي
لوي^(٤) (c.u. Lowe) وغيره (٤) الذين اعلنوا عن تحصيل خمسة وسبعين (٧٥)



منتوجا من النهدرين موجب (ninhydrin-positive) من هذا التفاعل • (راجع
البياني التالي)•



ربما كانت بعض البيورينات قد بدأت تتكون على الارض البدائية حتى
قبل تبخر سيانيد الامونيا المركز • لقد ابان ليزلي أورجل (Lesile Orgel)
وجماعته^(٥) من معهد صولك في لاجولا بكاليفورنيا ان الضوء ما فوق البنفسجي



يسفر عن استحالة تترامر سيانيد الهيدروجين الى مونوامينو مالوتريل
(monoaminomalonitrile) • بإمكان هذا الوسيط المهم ان يتفاعل مع سيانيد
الهيدروجين اضافي ليعطي الادنين، او بإمكانه التحلؤ الى AICA الذي يمكن
ان يتكاثف مع السيانيد، او الفورماميدين، او السيانوجين، لانتاج الفوانين
والزائين.

اتخذ دور سيانيد الهيدروجين اهمية مضافة في عام ١٩٧٧ عندما قام
جيه بي فيريس (J.P. Ferris)، وجيه سي جوشي (Joshi) وجيه جي
لوليس^(١) (J.G. Lawless) بعزل البريميدينات من تجربة حلماة احد السيانيد
(a cyanide) • جرى تعديل سائل من سيانيد الهيدروجين بقدر (١٠) مولار
الى PH (٩.٢) مع هيدروكسيد الامونيوم وترك في درجة حرارة
لما بين اربعة الى ستة (٤-٦) شهور • وعندما اجريت آنذاك حلماة وتحليل
خليط التفاعل كانت الحصلة ٤،٥-دايهيدروكسي بيريميدين
(4,5-dihydroxyprimidine) و٥-هيدروكسي يوراسيل (5-hydroxyuracil)

اعطت صورة سيانيد الامونيوم واوليغومرات (oligomers) سيانيد
الهيدروجين كطلائع البيورينات والبريميدينات والحوامض الامينية وحدة
مرضية للكيمياء ما قبل البيولوجية. فبدلا من أن تتكون لبنات البناء البروتينية
والحوامض نووية على حدة والتقاءها بظروف الصدفة، كان كلاهما قد تكون
في نفس المكان ومن نفس المواد.

تم تحقيق تمثيل آخر للبريميديات في تجربة افتعالية من قبل مجموعة
من معهد صولك^(٧) باستعمال السيانواستيلين وهو الوسيط الثاني الاكثر
انتشارا المنتج في تجارب التفريغ الكهربائي. أعلن سانجيز (Sanchez) وآخرون
ان عند تسخين تركيز من (١٠ مولار) من السيانواستيلين في سائل من



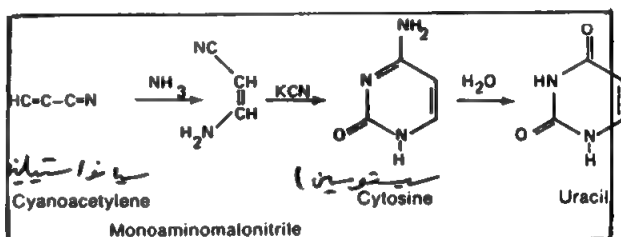
(١ مولار) من سيانيد البوتاسيوم بدرجة حرارة مائة (١٠٠°) مئوية لمدة يوم واحد أعطى حصيدا قدرها خمسة بالمائة (٥٪) من السيتوسين، وأعطى التفاعل بدرجة حرارة الغرفة لمدة سبعة (٧) أيام حصيدا قدرها واحد بالمائة (١٪). ومتى ما تكون السيتوسين تبعه اليوراسيل بحلأة سهلة بسيطة . (راجع معادلة التفاعل التالية).

Cyanoacetylene

Cytosine

Uracil

Monoaminomalonitrile

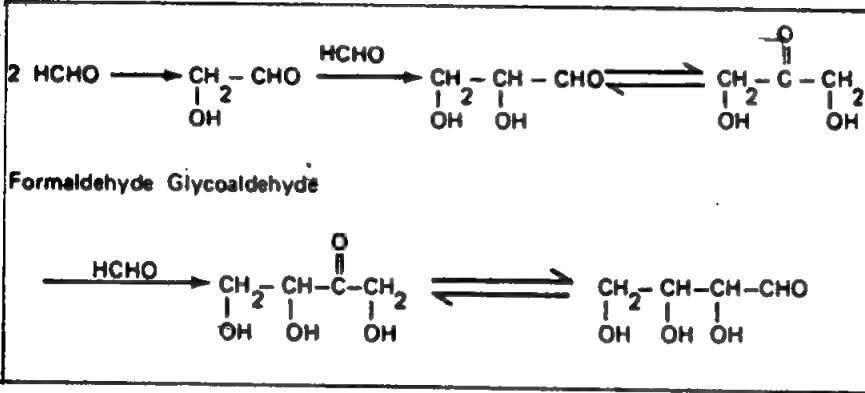


بكل وضوح كان من شأن تكون سيانيد الهيدروجين والسيانواستيلين من غازات الارض البدائية اطلاق سيانيد الامونيوم واوليغومرات الهيدروجين، وفي-الاخير الحوامض الامينية ، والبيورينات ، والبيريميديات اللازمة للبنات البنائية المهمة بيولوجيا للبروتينات وحوامض النووية. أما القواعد الهتروسيسكلية فيلزم تكثيفها مع سكر وحامض فوسفويك لصنع النووتيدات لبلمرة حوامض النووية.

للوهلة الاولى كان التمثيل ما قبل الحيوي للسكر ليبدو من اسهل التجارب الافتعالية للاستبطا . الفورمالديهايد هو أحد المواد العادية المكونة في التجارب لما قبل الحياتية، ومنذ عام ١٨٦١ كان بيوترلو (Buterlow) قد اوضح ان الفورمالديهايد يتعرض للتكثف في السوائل القلوية لانتاج السكر . وبعد تكوين الغليكوالديهايد (glycoaldehyde) تتجه عملية التمثيل الى السكر الاعلى، كالتروز والبتوز والهكسوز، بما فيها الريبوز والغلوكوز

رباعوز = tetrose ، خماسوز = pentose ، سداسوز = hexose

• (glucose, ribose)



مهما كان تكثف الفورمالديهايد يبدو محتملا لتمثيل السكاكر في ما قبل الحياة، فانه توجد اعتراضات كيميائية خطيرة . ان التفاعل يقع فقط في تركيزات اعظم من (٠.١ ر) مولور ، مع ان السكاكر المونومرية غير مستقرة

في الماء ، لاسيما اذا كان (PH) دون (٧) بكثير . ومشكلة أخرى هي ان السكاكر تتفاعل مع الحوامض الامينية بتفاعل ميلارد (Maillard) المتقتم (browning) لتشكيل منتوجات لايولوجية . ولما كان يلزم الافتراض ان الترتيبة البسطة لنشأة الحياة هي حيث كانت جميع المكونات البادئة قد تكوّن وتواجدت معا بنفس الوقت . فانه يتوجب الاخذ في الاعتبار التفاعلات التي كانت ستولد منتوجات خاملة . يبدو ان هذا يكفي لاستثناء السكاكر ، انما في الواقع يوجد سكر، فقط حيوي الضرورة للتجميع الابتدائي لخلية وظيفية ، وهما الريبوز والذي اوكسي ريبوز، المكونان الجوهريان للنووتيدات . بهذا الصفة تزول المشاكل الكيميائية مع السكاكر ، فان الريبوز مربوط بشكل

يكف عن امتلاكه اللاستقرارية الفطرية للسكاكر.

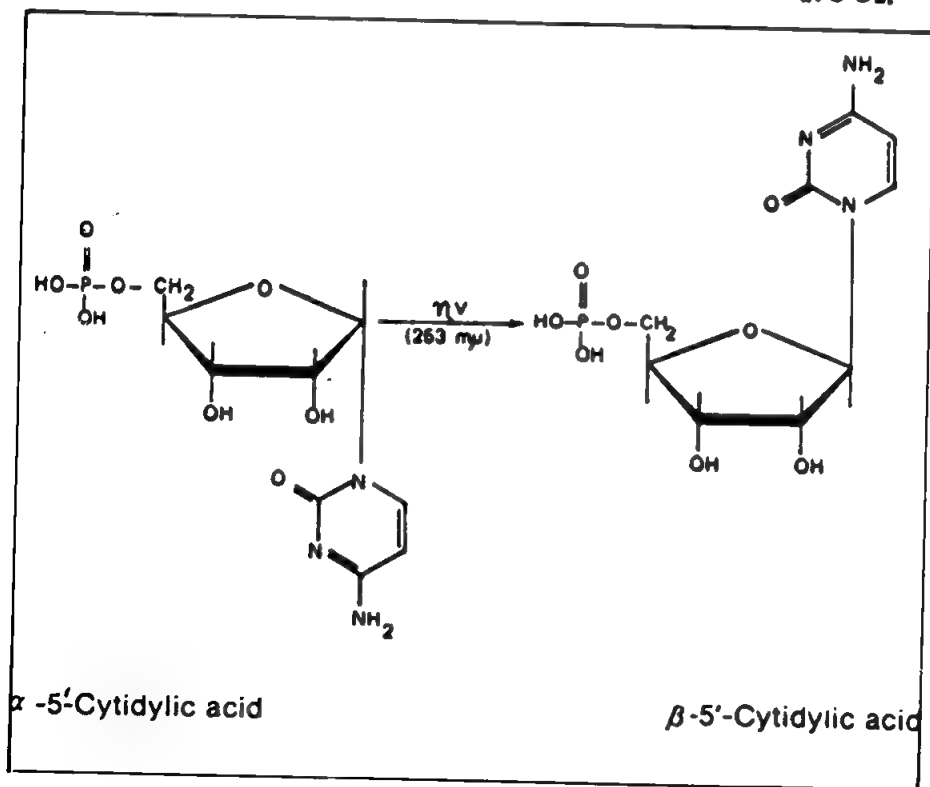
قام اورو وأي سي كوكس^(٨) (A.C. COX) بتحري أحوال ملائمة حيث كان يمكن أن يتكون الريبوز والذي اوكسي ريبوز على الارض البدائية. ووجدوا أن المحاليل المائية للاستالديهايد (CH_3CHO) مع الفورمالديهايد (HCHO) ، او الفليسرالديهايد ($\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CHO}$) محفزة بأوكسيد الكلسيوم في درجة حرارة خمسين (50°) مئوية اعطت حصيداً قدرها ثلاثة بالمائة (٣٪) من الذي اوكسي ريبوز، وثبت ان هيدروكسيد الامونيوم محفز اكثر فعالية .

ان توليد الفورمالديهايد والاستالديهايد بالتفاعلات على الجو البدائي كان سيستلزم تواجد غازات الهيدروكربون، ولما كان تواجد الهيدروكربونات في بعض الصخور النارية والنيازك يوحى الى تواجد ما قبل البيولوجي للميثان ونظائره، فانه يتوخى ما يدعو الى الاعتقاد ان ملائع الالديهايد والعوامض الدهنية كانت موجودة.

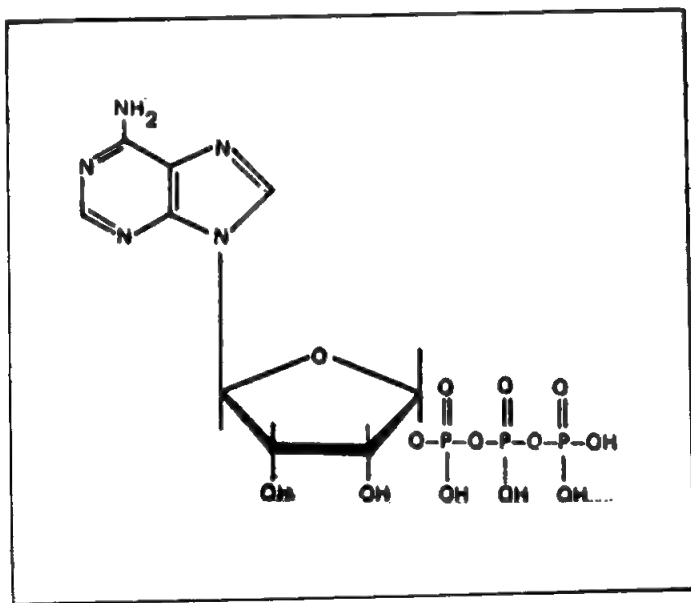
يتم ربط الادين بالذي اوكسي ريبوز لتشكيل الذي اوكسي ادنوسين بسهولة، وعندما ترك المتفاعلان معاً في درجة حرارة الذي اوكسي ادنوسين تكون حاصل قدره واحد بالمائة (١٪) من الذي اوكسي ادنوسين^(٩). وبحضور الفوسفات ارتفع الحاصل الى خمسة بالمائة (٥٪)، وعندما جرى استخدام الضوء ما فوق البنفسجي مع السيانييد ازداد الحاصل الى سبعة بالمائة (٧٪). من المؤسف أن القواعد الاخرى لم تنتج نووتيدات بهذا التفاعل ، انما كان بالامكان تكوين هذه بوسائل أخرى. على سبيل المثال ، يعمل خليط من املاح البحر كمحفز فعال لتكوين النوسيدات (nucleosides) عند تسخين البيورينات مع الريبوز، ويعطي حصائل تتراوح ما بين واحد ونصف واربعة نصف بالمائة^(١٠) (٥٠-٤٠٪).



ألا ان هذه الطريقة ليست ناجحة بالنسبة الى البريميدينات • رغم ان نووسيدات البريميدين لا تتكون من الاتحاد المباشر للقاعدة مع الريبوز، فإنه من المعقول أن تكون قد نشأت اقل مباشرة • عند موازنة ريبوز-5-فوسفات Ribose-5-phosphate مع الامونيا لتكوين الريبوسيلامين (ribosylamine) ومن ثم معالجته بنجاح بالسيانوجين والسيانواثيلين ، كان الناتج الرئيس حامض الالفاسيتيدليك (α-cytidylic acid) • غير ان هذا الشكل البيولوجي هو ايسومر البيتا (B isomer) • ان ضوء الشمس، الذي تم ادخاله في معظم تجارب الافتعال، يلعب دورا حاسما هنا • عندما جرى تعريض حامض الفاسيتيدليك للضوء ما فوق البنفسجي، تم تحويل ما يبلغ عشرة بالمائة (١٠٪) الى حامض بيتا ستيدليك، وهو الايسومر الذي تستخدمه المنظومات البيولوجية (١١) •



للاتقال من النووسيد الى النووتيد يستلزم الفسفرة او ربط مجموعة من حامض الفوسفوريك بحصة السكر. هذه الخطوة شديدة الصلة بالمشكلة العمومية للتكوين ما قبل البيولوجي لمشتقات الفوسفات. ان المركب الذي عادة ينقل الطاقة الكيميائية في المنظومات البيولوجية هو الأتب، أي ثلاثي فوسفات الادنوسين، والطاقة من حلماة رابط البيروفوسفات بتجريد الأتب الى أدب، ثنائي فوسفات الادنوسين، هي التي تضرم التفاعل في عمليات التمثيل البيوكيميائية. كانت البيروفوسفات جوهرية الضرورة منذ البداية، والأتب يملك الاستقرار والتفاعلية اللتين تجعلانه في غاية الصلاحية للمهمة



الشكل ١٨/١ - بنية ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP اتب).
لما كانت حوامض النوويك هي بوليمرات من النووتيدات مرتبطة بواسطة المجموعة الفوسفاتية من مجموعات سكارها في ترابط اسهامي قوامه (3'-5'-linkage)، فلا بد انه تواجدت على الارض البدائية وسيلة



ما قبل بيولوجية ملكت القدرة على فسفرة النوسيدات، فإذا توفر ما يبرر تواجد جيولوجي لحامض الفوسفوريك ومشتقاته فإنه لن تواجه أية صعوبة في إقامة التجربة الافتعالية . عند اذابة النوسيدات في حامض البولي فوسفوريك في درجة حرارة ما بين صفر الى ٢٢ (٠-٢٢°) مئوية ، نحصل على ناتج يتراوح ما بين (٢٥) الى (٤٥) بالمائة من المونوفوسفات^(١٢) . لكن حصول حامض البولي فوسفوريك في الاحوال الجيولوجية مستبعد جدا ويتعذر معه اعتباره جوابا شافيا .

ان الصعوبة مع الفوسفور هي شدة عدم ذوبان املاحه الكلسيومية ، أي الاباتيت ، ولما كان الكلسيوم يفوق غزارة الفوسفور في البازلت بزهاء عشرين ضعفا (عشرة أضعاف في الغرائيت) فإنه بالامكان ازالة الفوسفور من مياه البحر بكل فعالية، وذلك بترسيب املاح الكلسيوم . من جهة أخرى ان الفوسفور ليس عنصرا نادرا ويؤلف ما مقداره (٠.٦) بالمائة من المحتوى الفلزي للصخور النارية^(١٣) . وبالرغم من امكانية تكون الهيدروكسي اباتيت (hydroxyapatite) في ترسيب الفوسفور من المحاليل المائية النقية ، فإنه بيئة بحرية يترسب بصفة فلورواباتيت الكربونات (carbonate fluoroapatite) بالنتيجة ، يبقى تركيز الفوسفور في مياه البحر منخفضا للغاية بمستوى (٢ر٢) ميكرومولار .

المشكلة هي اذن ايجاد الظروف المتناسبة مع الارض البدائية امكن فيها توفر الفوسفور للاندماج في المركبات العضوية ، أي اقامة الامثلة الايضاحية لشكل كيميائي من هذا العنصر ملك المقدرة على اتيان التفاعلات التفسيرية . وقد تمكن ستانلي ميلر وپاريس^(١٤) (M. Parris) من انتاج البيروفوسفات على سطح الهيدروكسي اباتيت بأملاح السيانات . وبما ان بيروفوسفات الكلسيوم مقاوم للذوبان مثلما هو الاباتيت ، فإن اية عملية تمثيل حصلت



كان سيترتب حصولها على السطح البلوري . وهذا امر يمكن تصوره ، ولكنه ليس مقنعا حقا، ويبدو ان شكلا آخر من الفوسفات له قابلية ذوبان اكثر مع ظهور الخلية الوظيفية سيكون اكثر عقلانية.

طرح ألان شفارتس^(١٥) (Alan Schwartz) من جامعة نيميغن (Nijmegen) بهولندا ، طريقة كان يمكن جعل الفوسفات بها قابلا للذوبان ومركزا ضمن مستوى وظيفي . ان حامض الاوكساليك (oxalic acid) عامل شديد التشبيك (complexing) للكلسيوم . فاذا بلغ هذا الحامض ، الذي كان ممكنا تكونه من تفسخ الغلايسين او حامض النمليك او بتحلؤ السيافوجين ، تركيزا قدره (٠.١) مولار في (٥) (PH5) بملامسة الاباتيت ، فانه سيحرر الفوسفات بقدر (٠.٠٣) مولار ، وهذا مقدار كبير نسبيا من الفوسفات في المحلول . يرى شفارتس انه كان بإمكان السيافوجين كغاز قابل للذوبان في الماء ومتواجد في الزمن ما قبل البيولوجي ان يوفر امدادا متواصلا من الاوكسالات (oxalate) في كل سطح - اخرى معرض للتعرية ، وان مشتقات حامض الفوسفوريك كانت لتكون متوفرة من خلال هذه الوسيلة .

متى ما امكن التغلب على صعوبة اثبات التواجد الجيولوجي لاملح حامض الفوسفوريك، فانه توجد تفاعلات تفسيرية معلومات كان حصولها ممكنا . عند رفع درجة حرارة تسخين نووسيدة من (٥٠) مئوية الى (١٦٠) مئوية مع عدد من مركبات فوسفات الهيدروجين، يسفر هذا عن حصول المونوفوتيد^(١٦) (mononucleotide) . لكن تفسرا اكثر فعالية يحصل مع اليوريا . فعند تسخين النوسيدات الى درجة حرارة (١٠٠) مئوية في خليط يابس من اليوريا ، يتم تحويل فوسفات هيدروجين الصوديوم وكلوريد الامونيوم وبيكاربونات الامونيوم الى مشتقات فسفرة بمقادير تتجاوز تسعين بالمائة (٩٠/)(^{١٧}) .

لقد ظهرت اليوريا كناتج في أغلب التجارب الافتعالية للاحوال ما قبل

الحوية وليس انها كانت منتشرة بكثرة على الارض البدائية ، ولا بد انها كانت موجودة في كل سوائل سيانيد الامونيوم المكشوفة لأن الاشعاع ما فوق البنفسجي يحفز تحويل سيانيد الامونيوم الى اليوريا . وعند اجراء المزيد من الدراسات على تفاعلات التفسر المحفزة باليوريا اكتشف ايل اوستربيرغ (L. Osterberg) وايل اي اورجيل (L. E. Orgel) وآره لورمان^(١٨) (R. Lohrman) ان عندما تتجاوز الفوسفات النوسيدات في الخليط يؤدي ذلك الى تكوين اربطة البيروفوسفات . وقد اسفر التسخين لمدة اربعة ايام بدرجة حرارة (١٠٠°) مئوية عن حصول ناتج قدره (١٥) بالمائة من ثلاثي فوسفات الثايمدين .

اذن يبدو ان ثلاثي فوسفات النوسيد ظهرت في الزمن ما قبل البيولوجي في ظروف جيولوجية معقولة في الظاهر . ان الشرط الجوهري لذلك كان تواجد الفوسفات كأملاحها الحامضية . ولكي تتصور كيف امكن ان يحصل هذا يتحتم علينا العودة الى الوسط القائم لأقدم المتعضيات المجهرية على الارض .

تتألف صخور مسلسل انفرواكت التي تقع فيها الاحافير المجهرية من احجار صوانية أو ظرائية خام فوق صخور بركانية دون مائة بارزة . ورغم ان الاحجار الصوانية موجودة في متسعات افقية ، فإنها في الغالب تحصل كجيوب في سطح اللابا العتيقة . ان ما حصل آنذاك هو لربما نفس ما يحصل اليوم في العديد من هذه البوارز ، والماء الحديث العهد المندفح الى السطح اما بفعل الاندلاعات البركانية او الانبثاقات النافورية غني للنساية بالمغذيات ، فهو مفعم بثاني اوكسيد الكربون وفلزات الفوسفور والكبريت والنيروجين الجوهريّة الضرورة . ربما ان درجة حرارة البراكين العالية تحرر الفوسفور من الفلزات في الصخور النارية وترفعه الى السطح كأملح حامضية



قابلة للذوبان فتقوم باغناء مياه البحيرات البركانية.

ونفس الظاهرة تبدو بجلاء اليوم حيث غالبا ما تنمو الاحياء المجهرية للغدران البركانية بغزارة شديدة وتشكل طبقات قشرية تتسع حتى تغطي في النهاية اسطح هذه الغدران بأكملها . وعندما تكون البحيرات كبيرة مثل بحيرة وائمونغو بنيوزيلنده يؤدي هذا النمو الى تكون طبقات قشرية عند الحواف وتمتد على مسافات شاسعة نحو وسط البحيرة^(١٩) . ومن الممكن تماما ان تكون الحياة قد بدأت على الارض قبل اكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة خلت ليس في بحر ذي قوام «الحساء البدائي» وانما في الغدران البركانية الغنية بالفوسفور والكبريت التي كانت منتشرة على سطح الارض اثناء الدهر الاركي.



الفصل التاسع عشر - الهضميتيدات

(Polypeptides)

جاء اكتشاف الطريقة التي تمكنت الحوامض الأمينية والنووتيدات بها من التكون على الارض البدائية ليملا الفجوة القائمة بين الجيولوجيا اللاعضوية وبين الوحدات العضوية الاساسية للمنظومات البيولوجية . لكن بعد اجتياز هذه العقبة نجد انفسنا على مشارف هوة سحيقة أخرى قبل أن تتمكن من تشييد مثال يصور لنا الاصول الكيميائية للحياة . لا توجد اية صفة للحياة في الحوامض الامينية والنووتيدات ، ولا تأتي المنظومة الحية من اللبانت البنائية ، بل من التفاعل المتسق لبيوبوليمراتها، وجملة العلاقة بين الحوامض النوويك والانزيمات هي التي تشكل أساس البيولوجيا .

وهنا بالذات تكمن المشكلة . ففي المتعضيات ، كما نعرفها تقوم الانزيمات بتحفيز جميع التفاعلات البيوكيميائية ، بما فيها التفاعلات التي تفضي الى تمثيل حوامض النوويك والانزيمات بذاتها . فاذا كانت الانزيمات معا، وكلاهما مطلوب لصنع الانزيمات، من أين اذن جاءت الانزيمات باديء ذي بدء؟

مثلا كانت النظرة في الخمسينات من هذا القرن تشدد التوكيد على الحوامض الامينية بصفاتها اللبانت البنائية الاكثر أهمية ، كذلك ايضا يبدو انه ظهر توكيد على ايجاد منشأ لا حيوي للبروتينات ، وبالتالي للانزيمات، بناء على الاعتقاد السائد ان متى ما تكونت الانزيمات يصبح معها تمثيل جميع المكونات الاخرى ممكنا . ربما كان أقرب الى الذهن التفكير بالظهور اللاحيوي لبولي هضميتيدة ذات خواص انزيمية مما هو تصور تكون جينة خارج منظومة بيولوجية، وهي التي يمكنها أن تحصل في المتعضيات المعاصرة بوزن جزئي يحد بالملايين . انما يبدو محتملا ان الاهتمام الموجه الى البروتينات



نبع من حقيقة كون الخبراء البيوكيميائيين اعرف بالحوامض الامينية والكيمياء
الراسخة المقررة لبلمرتها الى بولي هضميتيدات في المختبر.

كان الكيميائيون يحاولون بلمرة الحوامض الامينية بتسخينها منذ
ما قبل قيام أف هوفمايستر^(١) (F. Hofmeister) اي فيشر^(٢) (E. Fischer)
بتثبيت الطبيعة البولي اميدية (Polyamide) للبروتينات . في عام ١٨٩٧ قام
هيوغو شيف (Hugo Schiff) بتكثيف حامض الاسبرتيك في درجات حرارة
ما بين (١٩٠، ٢٠٠° مئوية، وبعد ذلك بثلاث سنوات قام ايل باليانو
(L. Balbiano) ودي تراشياتي (D. Trasciatti) باعداد البولي غلايسين من
تسخين الحامض الاميني في الغليسول ، وعند تسخين الغلايسين بدون مذيب
تتج عنه خليط من الهضميتيدات وانهايدرات الغلايسين^(٥) . لكن يقينا ان
عملية البلمرة الحرارية الاكثر نجاحا للحوامض الامينية كانت تلك التي قام
بها والاس كارودرز (Wallace Carothers) في عام ١٩٣٦ اثناء اشتغاله بشركة
دوبون (Dupont) حين قام بتسخين حوامض اوميفا الامينية
(omega-amino acids) التي تقع المجموعة الامينية فيها على ذرة الكربون
الابعد من نهاية الكربوكسيل، وحصل على بوليمر البولي اميد
(polyamide polymer) الذي أصبح فيما بعد معروفا بأسم نايلون^(٦) (Nylon)

ان تفاعل البلمرة هو خطوة تجفيفية او نزع الماء (dehydration)
وهي عكس الحلمأة (hydrolysis) . ومعنى هذا هو انه يلزم ازالة جزيئة من
الماء لكل ترابط اسهامي (linkage) هضميتيدي يتكون عند تكثيف
الحوامض الامينية . وعليه فان السبيل المنطقي الى انجاز البلمرة هو ايجاد
أحوال تجفيفية أو نزعائية مطابقة . أما الرأي الكثير الشيوع بأن جزيئات
ضخمة تكونت من تكثف المونومرات في زمن ما قبل البيولوجي في أحد
البحار البدائية فهو غاية من السذاجة لأنه لا يأخذ في الحساب الاحتياج



الديناحراري (thermodynamic) أو الثرمودينامي البالغ ١٦-٨ كج/م لتكوين الرابط الهضيميتيدي. ان حقيقة نشوء ونمو المتعضيات في البحار لا يعني بالضرورة ان جوهريات الخلية الوظيفية الاولى تكونت هناك.

من أقدم المحاولات لاكتشاف الاصل ما قبل البيولوجي للانزيمات او بوليمرات الحوامض الامينية شبه الانزيمات كانت تلك التي قام بها سيدني فوكس (Sydney Fox) حاليا بجامعة ميامي. في ورقة اعدّها بالاشتراك مع ام ميدلبروك^(٧) (M. Middlebrook) تم تقديمها الى الجمعية الامريكية للكيميائيين البيولوجيين في عام ١٩٥٤ أعلن فوكس ان تسخين بعض الحوامض الامينية بدرجة حرارة (٢٠٠°) مئوية لمدة نصف ساعة الى ثلاث ساعات اسفر عن انتاج البوليمرات اللامائية (anhydropolymers) ، وقام بمقارنة نتائج هذه التكتيفات بورقة سابقة له تتضمن وصفا لاتتقائية الحوامض الامينية، أي جنوحها الى الاقتران ببعضها في تكتيف انزيمي التحفيز^(٨).

ثم في عام ١٩٥٩ أعلن اس دبليو فوكس (S.W. Fox) وكيه هارادا K. Harada وأي فيغونسكي^(٩) (A. Vegotsky) عن البلورة الحرارية للحوامض الامينية في ورقة يؤيد فيها نظرية تفيد ان التمثيل الحراري للبيوكيميائيات سبق نشأة الحياة في تطور ما قبل البيولوجي يشبه مسالك التمثيل الحيوي. على سبيل المثال ، عند تسخين حامض التفاحيك (malic acid) مع اليوريا او الامونيا ، يسفر عن ذلك عن حامض الاسبرتيك^(١٠) ، وبدوره يمكن تجريد حامض الاسبرتيك الى ألانين الفا او بيتا (a-or Balanine) زيادة ذلك، تفاعل حامض الاسبرتيك مع اليوريا بوجود الكلسيوم أو هيدروكسيد المغنسيوم لينتج عنه حامض اليوريدوسكسينيك ureidosuccinic acid وهو وسيط في التمثيل الحيوي biosynthesis لبريميدينات. وقد كانوا يولدون بتسخين ملح احد الحوامض من دورة كريس



(Krebs cycle) منتجات تتكون بيوجينيا (biogenetically) بطريقة
مماثلة . كانت فرضية مثيرة للاهتمام لكن التناظر التناسبي انطبق فقط على
بضع بنى بسيطة ولم تشمل طرائق التمثيل الحيوي بكليتها .

كان البيوكيميائيون يعلمون ان تسخين خليط من الحوامض الامينية
بالنسب الموجودة في البروتينات يؤدي الى التحلل الحراري ينتج عنه قار
اسمر قاتم ذو رائحة كريهة . وبما ان حامض الاسبرتيك يتبلر بسرعة
بالتسخين انما حامض الغلوتاميك لا يفعل ذلك الا بمجهود ، فقد اكتشف
فوكس وهارادا أن خلط وتسخين حامض الغلوتاميك مع حامض الاسبرتيك
أدى الى بلمرتها معا . غير انه باستثناء الغلايسين لا تشكل الحوامض الامينية
المحايدة بوليمرات مماثلة بسبب العائق الحيزي ، أي ترتيب الذرات في
الجزيئة . لكن عند استخدام خليط من الحوامض الامينية أغلبه من حامضي
الاسبرتيك والغلوتاميك مع خليط متساوي الجزيئي الغرامي (equimolar)
من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى بنسبة (١:٢:٢) تمكن فوكس
وهارادا من تسخين خليط من الحوامض الامينية لحد ما (ديلزة = Dialysis
الفرز بالانتشار الغشائي) .

أعلن عن هذه الطريقة في عام ١٩٥٨ بوصفها البلمرة الحرارية للحوامض
الامينية الى ناتج يشبه البروتين^(١١) . لقد نتج عن تسخين خليط من الحوامض
الامينية يتضمن ثمانين بالمائة (٨٠٪) حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك في
مغطس زيتي (oil bath) بدرجة حرارة (١٧٠°) مئوية لمدة ثلاث ساعات عن
منتج شبه الزجاج . بعد اذابة هذه المادة في الماء ، وفرزها غشائيا ، وتجفيفها
بالتجميد ، أعطى تحليل المسحوق البني الناتج وزنا متوسط السلسلة
mean chain weight = وهو وزن جزيئي قدره (٤٩٠٠) يتضمن (٧١٪)
حامض الاسبرتيك و(١٥٪) حامض الغلوتاميك و(١٤٪) من جميع الحوامض



الأمينية الاخرى مجتمعة • ومن تحليل الحوامض الامينية العيارية الطرف (N-terminal) تم الاستنتاج ان البوليمر تضمن تربية لا عشوائية من المونومرات •

لقيت فكرة امكان عمل بوليمرا يشبه البروتين بتسخين تناسب صحيح من الحوامض الامينية اهتماما كبيرا خلال السنوات الستينية من هذا القرن وجرى نشر عدد كبير من الاوراق تحاول اقامة علاقة تناظرية بين العديد من الخواص المادية والكيميائية للبروتينات وبين هذه البوليمرات الحرارية^(١٢) • كانت أغلب المقارنات للخواص اللاحقة كأختبارات الالوان او التحليلات العنصرية الناشئة عن الحوامض الامينية أو الروابط الاسهامية الهضيميتيدية القصيرة • من جهة أخرى أخفقت هذه البوليمرات الحرارية في ابداء أي تجاوب حصين عند اختبارها لتوليد التضادية^(١٣) (antigenicity) وهو اختبار حساس للغاية للبنية البروتينية •

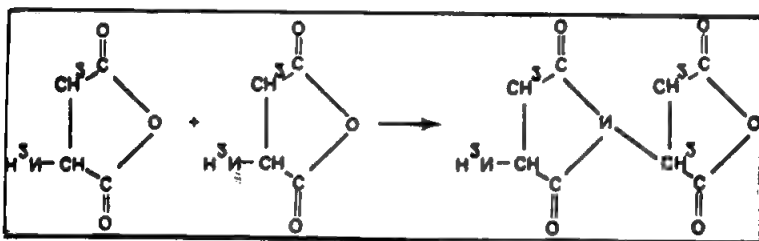
أطلق فوكس اسم شبه البروتين (protenoid) على البوليمرات الحرارية هذه، وحاجج على انها تتضمن جميع الثمانية عشر حامضا امينيا الموجودة في البروتينات (باستثناء الغلوتاميك والاسبرتيك)، وجرى تمديد اصناف شبه البروتين الى القاعدية منها التي كانت في الاغلب ليسين (lysine) وهو حامض أميني يمكنه ايضا أن يكون بوليمرا متجانسا (homopolymer) وجد مسلسل من الخواص التحفيزية الضعيفة للغاية في بوليمرات حرارية مختلفة اعتبرت انشطة شبه أنزيمية^(١٤) •

وبسبب لا تجانسيتها، تعذر التثبت من التربية للحوامض الامينية في هذه البوليمرات الحرارية بالتسويق ، على غرار الاسلوب المتبع اعتياديا مع الهضيميتيدات الطبيعية • بالنتيجة ، كان قسط كبير من تفسير فوكس بخصوص البنية موحها لبيان تواجد لا تجانسية محدودة، ولا عشوائية، أي ان



الحوامض الامينية عند تسخينها معا تتكثف مع درجة من الانتقائية الجانحة الى شاكلتها لتكوين سياقات تشبه تلك الموجودة في البروتينات. غير ان انعدام العشوائية واختلاف نسب الحوامض الامينية في بوليمر حراري ليسا دليلا بالمرة على أن ترتيب الحوامض الامينية تشبه البروتينات. كما توجد تفسيرات اكثر بساطة متمشية مع السلوك الكيميائي .

ان حامض الاسبرتيك ، كيميائيا، هو المشتق الاميني من حامض السكسينيك^(١٥)، وهو يتبلر بسرعة عند التسخين لأن بإمكانه تكوين انهايدريد يتفاعل بعد ذلك مع أية مجموعة امينية متوفرة بما فيها تلك في حوامض الأسبرتيك الأخرى تستمر البلمرة فور ابتدائها الى أن تستنفد حامض الاسبرتيك المتوفر أو تنتهي بحامض اميني محايد يعجز عند تمديد أو مواصلة العملية.



تمكن فوكس باستخدام خلاط من الحوامض الامينية تتألف في معظمها من حامض الاسبرتيك او الليسين (Lysine)، وهما حامضان امينيان يتبلران بسهولة الى بوليمرات متجانسة ، من الحصول على بلمرة هذه الحوامض الامينية مع مقادير صغيرة من الاخرى مندمجة بها. امكن بلوغ الاوزان الجزيئية العالية المنسوبة الى البروتنويدات أو اشباه البروتين فقط اذا كان

البوليمر في الجوهر من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين . ومن بين سمات هذا التفاعل كانت النسبة الأكبر من الحوامض الامينية المحايدة ، ومعدل الوزن الجزيئي المنخفض للنتاج، وهو دليل واضح على ان هذه الحوامض الامينية انتهت العملية بالتفاعل معا عند عجزها عن مواصلة البلمرة .

للهلة الاولى يبدو التحليل بالحوامض الامينية لهذه البوليمرات شيها بتحليل بروتين قياسي مع النسب المثوية المولية أو الجزيئي غرامية لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مدرجة في جدول . أما الوهم في تفسير هذا التحليل فانه كمن في اعتبار الاوزان الجزيئية لهذه البوليمرات الحرارية فقط ما بين (٤٠٠٠) الى (٥٠٠٠) . انما بوزن جزيئي قدره (٥٠٠٠) ابان التحليل ان البوليمر تضمن اثنين وعشرين (٢٢) من حوامض الاسبرتيك ، وثلاثة حوامض غلوتاميك وثمانية من الاخرى^(١٦) . أما عندما كان الوزن الجزيئي (٤٩٠٠) فتبين ان التركيبة تضمنت (٢٦) حامضا اسبرتيك، وثمانية غلوتاميك، و(٧) من الاخرى . ومعنى هذا هو انه بالرغم من ان ناتج التحليل تضمن جميع الحوامض الامينية الثمانية عشر (١٨) لم يتسع أي من البوليمرين لاحتواء اكثر من سبعة او ثمانية من الحوامض الامينية الستة عشر الاخرى اضافة الى حامضي الاسبرتيك والغلوتاميك في جزيئة واحدة . تحلل العديد من الحوامض الامينية من قبيل التيروسين أو الفنيل الانين بنسبة مثوية بطيئة لدرجة استدعت كون الوزن الجزيئي للبوليمر الحراري أكبر بثلاثة أو اربعة اضعاف ليتضمن حتى مجرد فضلة واحدة . كان واضحا ان النتائج لم تتضمن ما يشير الى التبلر التزامني لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر في نفس البوليمر ، ثم من حيث التعريف لم تكن البوليمرات الحرارية حتى أشباه بروتين .

قلما يمكن ان يتسرب أي شك الى انه لا يمكن افتعال التمثيل البيولوجي

للبروتينات بمجرد تسخين خليط لا متجانس من الحوامض الامينية ، فالمائع الحيزي سيحول دون تفاعل الحوامض الامينية ذات السلاسل الجانبية المنافرة للماء في التفاعلات الحرارية ما عدا في المواضع الطرفية . وبالنتيجة لا يفعل ذلك الا الحوامض الامينية المعروفة بسهولة تبلمرها . أما البروتينيدات أو اشباه البروتينات فقد كانت خلافاً من حامض البولي اسبرتيك أو البولي ليسين منشورة بحوامض الفلوتاميك والغلايسينات وبطرف حوامض امينية محايدة ، وتمديد التسخين أو رفع درجات الحرارة أدى الى زيادة عدد الحوامض الامينية المحايدة المدمجة ، وهذا مطابق مع الرابط الايميدي (imide bond) لحامض الاسبرتيك المكثف المتفاعل مع هذه الحوامض الامينية، مضيفا اياها الى السلسلة الجانبية . كانت البلورة المتزامنة لجميع الحوامض الامينية الثمانية عشر مبنية على التحليل الحامضي الاميني للنتائج الذي ابان ان جميعها موجودة لحد ما . انما هذا لا يشير الى السياق بشيء . عند تسخين حامض بولي اسبرتيك في خليط مماثل من الحوامض الامينية يعطي البوليمر الناتج ايضا تحليلا لجميع الحوامض الامينية بنفس الطريقة كتلك الخاصة بما يسمى بالاشباه بروتينات^(١٧) .

اعطت تجربة ميلر حوامض امينية لأنه تم غسل المنتجات المتكونة بالتفريغ الكهربائي في قارورة اعادة التسييل حيث تحلّمت بسرعة . أدى هذا الى اعادة اسقاط المواد الوسيطة خلف الحاجز الديناحراري للتبلر التلقائي واقامة الحاجة الى تفاعل تكثيفي يستلزم الطاقة لاتاج هضميّيدة، وبدلا من محاولة استحثاث المناطق اللامائية أو درجات الحرارة العالية لاعادة المواد المكثفة الى وضعها، قام بعض الباحثين بتقضي أساليب لاستحصال البولي هضميتيدات بطريقة مباشرة اكثر .

قد يمكن الجواب على تكون الهضميتيدات في تجربة ميلر بذاتها . تم

عزل الهضميتيدات والحوامض الامينية ايضا من المحلول في تجربة الشرارة التي أبقت درجة حرارة الماء فيها على (٤٠°) مئوية^(١٨). أما عند اقامة التجربة في درجة حرارة الغرفة فلم يتم اكتشاف الحوامض الامينية الا بعد حلماة الفضلة الصلبة المستعادة بعد تبخير السائل^(١٩). كان ساغان وخاره^(٢٠) ايضا قد لاحظا هذه الظاهرة لدرجة الحرارة في دراساتها للضوء كيميائية (photochemical) حيث تم الحصول على صواب تقبل الحلماة الى حوامض امينية دون درجة الحرارة (٥٠°) مئوية. يبدو ان هذه النتائج تشير بكل وضوح الى ان الحوامض الامينية لا تتكون مباشرة في التفاعل وانما تنتج فقط من خلال حلماة طلائعها.

وعليه فان طلائع الحوامض الامينية تواجدت في شكل مكثف اسفر عن الحوامض الامينية عند التحلؤ. يتبلر سيانيد الهيدروجين في السوائل القاعدية ليعطي خليطا يشمل الترامر (di-aminomalonitrile) وبنتامر (ادين) وطلائع حوامض امينية بوليمرية وصواب سوداء جموحة يصعب تحديدها يعتقد انها أدت الى التحام البنى التراييدريدنية (tetrahydropyridine) قام كليفور د ماثيوز (Clifford Mathews) وروبرت موزر^(٢١) (Robert Moser) بعزل صواب شبه هضميتيدية من خليط التفاعل وحلماها الى اثني عشر من الحوامض الامينية العشرين الشائعة في البروتينات ، وبعد ذلك أعلنوا عن تكون منتوجات هضميتيدية ماثلة من حلماة الترامر ثنائي امينو مالونيتريل^(٢٢).

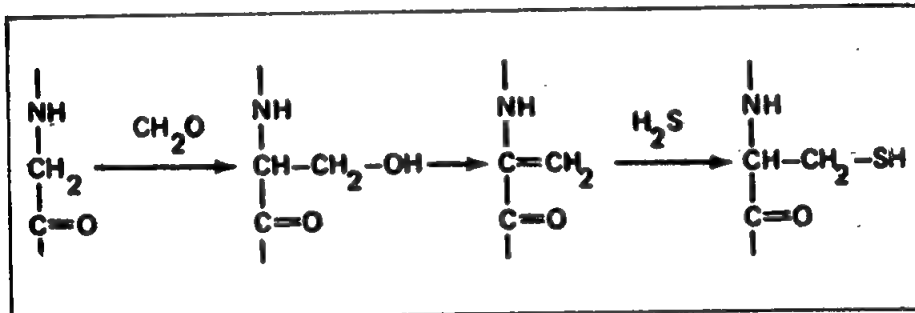
وكنتيجة لاعمال لاحقة، قام ماثيوز^(٢٣) العامل الآن بجامعة الينوي بفلكة شيكاغو بطرح فكرته ان البولي هضميتيدات اللامتجانسة تتكون مباشرة من سيانيد الهيدروجين وانها كانت لتتكون على الارض البدائية. بحسب منطوق الفرضية يوجد مسلك منخفض الطاقة ليتبلر سيانيد الهيدروجين فيه بسرعة الى بولي امينو مالونيتريل، والتفاعلات المتلاحقة لسيانيد الهيدروجين مع

مجموعات النيتريل التفاعلية آنذاك يجب أن تقضي الى البولي اميديان
اللامتجانسة (hetero-polyamides) التي بإمكانها أن تتفاعل مع الماء لاتساج
البولي هضميتيدات اللامتجانسة مع كون سياقات الحوامض الامينية فيها
مماثلة لما لدى البروتينات •

توجد ادلة طيف كشفية (سيكتروسكوبية: spectroscopic) على ان
اربطة الهضميتيد ومجموعات النيتريل موجودة في المنتجات المتكونة
بالاشعاع المؤين في محاليل سيانيد مائية^(٢٤) • وعند حلماة هذه المنتجات
في أعقاب ذلك أدى الى تحصيل عديد من الحوامض الامينية • وتأيد للنموذج
المقام لأصل البروتينات قام ماثيوز وجماعته^(٢٥) بمفاعلة بولي الفاسيانوغلايسين
(poly-a-cyanoglycine) مع سيانيد الهيدروجين أسفرت عن منتج تحلماً الى
حوامض امينية مختلفة تشمل الغلايسين والالانين والغالين وحامضي
الاسبرتيك والغلوتاميك •

ألا ان الرأي بأن البولي هضميتيدات اللامتجانسة او المختلفة تكون
بالفعل كطلائع تعرض للتشكك والنقض^(٢٦) • فقد أسفرت الاختبارات
النوعية لوجود اربطة الهضميتيد كالتحفيز بالبروناز (jronase) ، وهي انزيمية
يمكنها حلماة الدايفلايسين diglycine = أو ثنائي الغلايسين الى غلايسين
عن نتائج سالبة • لكن مسألة تكون البولي هضميتيدات اللامتجانسة بهذه
الطريقة واحتوائها على سياقات كالتى للبروتينات ربما ستبقى رهن النزاع
الى أن يتم الحصول على نتائج يتجاوب في تفاعل بيولوجي مثل التجريد
الانزيمي • قام سي سي آي سيميونسكو (C.I. Simionescu) وأف دينس^(٢٧)
(F. Dénes) في رومانيا بتحري اعداد او تحضير المواد البوليمرية في تجارب
افتحالية في أحوال البلازما الباردة • أضيف خليط من الميثان والامونيا وبخار
الماء بواسطة صمام ابري الى حجرة وجرى تعريض الغازات فيها الى تفرغ

بعدها تكون البولي غلايسين امكن ادخال سلاسل جانبية بالتفاعل مع الالديهايد او مع الهيدروكربونات اللامتشعبة . وبهذه الطريقة عندما قام اكابوري بمعالجة البولي غلايسين في الكاؤلينيت (Kaolinite) بالفورلديهايد تمكن من تحويل اثنين الى ثلاثة بالمائة (٢-٣٪) من الغلايسين الى السيرين، وأعطى الاستالديهايد واحدا ونصفا بالمائة (٠.١٥٪) مجموعات تريونيل (threonyl) . وعلى هذا النحو اعتبر ان الغالين والوسين والايسولوسين يمكن تكوينها من البروبيلين (propylene) والايسوبويوتين (isobutene) «بت-٢-اين» (but-2-ene) وبامكان التفاعل مع الاكريلونيتريل (acrylonitrile) أن يفضي الى الغلوتامين والارجنين والليسين او اللايسين . وبامكان تفاعلات أخرى أن تفضي الى الستين .



كانت هذه خطة بارعة ، ألا انه يصعب التقدير ما اذا كانت ملائمة لتكون بروتين ما قبل حياتي . كان جيه دي برنال^(٢٠) (J.D. Bernal) قد اقترح في عام ١٩٥١ ربما ان الحياة نشأت على سطح الصلصال الذي كان من الممكن ان يراكم مقادير كبيرة من المواد العضوية ، لكن الصعوبة في هذا التفاعل هي رفع الناتج من الصلصال بعد امتصاصه . وكان اكابوري قد استخرج ناتجه بالاستعانة بهيدروكسيد الصوديوم المخفف .

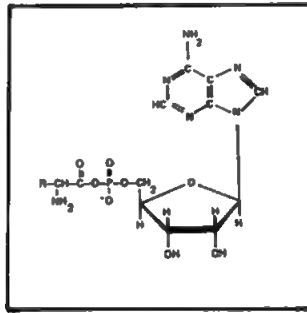
الصلصال هو مادة طبيعية شائعة ذات خواص بنيوية وتحفيزية قد



جعلته مادة مفيدة كعامل امتصاص وايضاح. تؤدي تعرية التربة واصناف الصخور المختلفة الى تكون فلزات صلصالية كجسيمات او هباءات (particles) تتألف في جوهرها سيليكات الالمنيوم المائي الكريستالي (crystalline hydrous aluminium silicates) • تتألف الفلزات من التامات من وحدتين بنيويتين أساسيتين، تتألف احدهما من تتراهيدرا السيليكا (silica tetrahydra) مع اربع ذرات اوكسجين أو هيدروكسيلات متساوية الأبعاد من ذرة سيليكونية مركزية مرتبة كشبكة سداسية تكرارية لتشكيل صفيحة (sheet) • أما الوحدة البنيوية الأخرى فتكون صفيحتين من الفلزات يتم فيها تسيق الاوكسجين والهيدروكسيلات على منوال المثلث الاسطح حول ذرات الالمنيوم او الحديد أو المغنسيوم • تصنف انواع الصلصال الى ايليت (illites) ، وكلوريت (chlorites) ، وكاؤولينيت (haolinites) ، ومونتموريلونيت (montmorillonites) وغيرها بحسب سماتها البلورية الاشكالية وكذلك بخواصها التحديدية (swelling) ، ومقدرة فلزات الصلصال على مسك ومبادلة بعض الكاتيونات والأيونات هي احدى خواصها الكيميائية المثمنة للغاية.

وبما أنه تتوفر كثرة من الشواهد للدلالة على امكانية تكون الحوامض الامينية بسرعة وسهولة في الاحوال ما قبل البيولوجية ، فإن الكشف اللاحياتي للحوامض الامينية بذاتها لا يزال له روق منطقي • انما تبقى هناك الحاجة الى طاقة عالية لبلمرتها في الاحوال الطبيعية • ولانجاز هذا تنتشط الحوامض الامينية عادة بأنها يدر يد مختلط بين الحامض الاميني وحامض آخر، وفي التمثيل الحيوي هذا الحامض الآخر هو مجموعة حامض الفوسفوريك في ثلاثي فوسفات الادنوسين ATP والانها يدر يد الناتج هو ادنيلات الحامض الاميني.

ما أن يتكون الادنيلات حتى يتم رفع الحامض الاميني الى مستوى من الطاقة مرتفع بما يكفي لحصول البلمرة تلقائيا . انما لكي يتفاعل ادنيلات الحامض الاميني مع حامض اميني آخر يلزم أن تكون المجموعة الامينية لذلك المونومر خالية من الشحنة الكهربائية . تتواجد الحوامض الامينية في السوائل المحايدة بمثابة زويتريونات (switterions) تتم فيها مؤاينة المجموعات الامينية والكربوكسيلية .



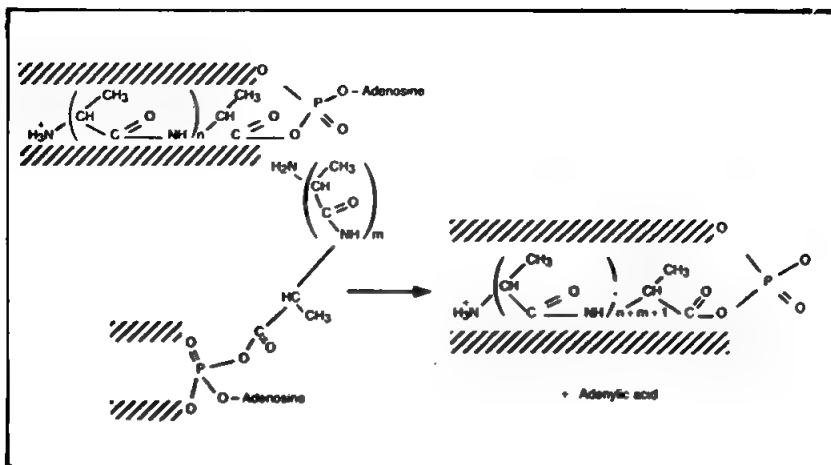
الشكل ١١/٩ - بنية ادنيلات الحوامض الامينية

لن تتكون اية ادنيلات اذا ما ترك الحامض الاميني والاتب للسكون معا في ١ (٧)، انما ستكون في سائل حامضي الذي تتواجد فيه مجموعة الكربوكسيل اللامؤاينة ، غير ان الادنيلات الامينية تتحد في هذا الجان من الحيادية . ايضا لا تتمكن المجموعة الامينية من التفاعل الا اذا

كان γ حوالي ٠.٨ ان المطلوب للبلمرة في الاحوال الطبيعية هو وضع تكون فيه المجموعات الكربوكسيلية والامينية للحوامض الامينية تفاعلية بنفس مستوى γ

اكتشف هذه الحالة ميلا بيخت هورونيتز (Mella Paecht-Horowitz) واهارون كاتشالسكي^(٢١) (Aharon Katchalsky) اثناء تحرياتها في الاطيان بحثا عن الصلصال الظرمي او صلصال السيليكا الملائم الذي يتضمن ما يكفي من المجموعات لمتزج بالحوامض الامينية لاعطاء ملح سيليكات للمجموعة الامينية وتسريح المجموعة الكربوكسيلية من الزويتريونة في γ محايدة وفوران تحرر المجموعة الكربوكسيلية بإمكانها ان تتفاعل مع الاتب لتكوين انهايدريد تفاعلي مختلط . اكتشفا ان الزبوليت تقوم بهذه الوظيفة وعند استخدامها في خليط من حامض اميني وأتب افضى ذلك الى توليد الادنيلات، لكن التبلر لم يحصل . وعندما تذكرنا نجاحهما السابق مع الموتموريلونيت، أقاما تجربتهما من جديد على هذا الصلصال وفيه بدأ تبلر الحامض الاميني . في احوال التجربة ،: تبلرت الحوامض الامينية باختلاطها بالاتب والموتموريلونيت في مستوى γ ما بين (٧٥) الى (٨٥)، ونظرا لتحرر حامض الادنيليك في هذا التفاعل استلزم ذلك الحفاظ على مستوى γ بأضافة القلي باستمرار ، وخلاف ذلك كان التبلر سيتوقف مع صيرورة γ يد حامضيا . كان مدى البلمرة المحقق باهرا ، وخلال بضع ساعات امكن تحقيق سلاسل من خمسين (٥٠) مونومرا وأكثر .





الشكل ٢/١٩ - بلعرة ادنيلات الحوامض الامينية في صلصال المونتوريلونيك

انما حصلت معوقات • بعض الحوامض الامينية تبلمرت سوية بشدة كالالانين والسيرين او الالانين والبرولين ، بينما جنع خليط من الالانين وحامض الاسبرتيك الى اعطاء فقط بوليمرات متجانسة من كل منهما . كما ان الحوامض الامينية القاعدية لا تتبلمر لشدة تلاصبها في الصلصال •

لكن ناحية ملفقة للنظر في التفاعل هي انه بإمكانه نظريا تكوين حامض البولي ادنيليك من نفس المادة البادئة كمنتوج جانبي للتفاعل^(٣٢).

لم يتم التدليل على هذا تجريبيا، انما اذا كان يمكن تكوين الحوامض البولي أمينية والحوامض البولي نوويك في آن واحد وفق ما طرحه آيجن^(٣٣) (Eigen) فقد كان سيتم التغلب على عقبة رئيسة في الحل لمسألة أصل الحياة.

ليتسنى تكثف الحوامض الامينية في الصلصال يلزم أن تكون تركيزاتها فوق مستوى (١٠-٣) مولة بالتر الواحد. لقد اجريت اغلب التجارب المختبرية بتركيزات عالية نسبيا بغية تحقيق النتائج الأمثل انما ربما لم يكن

تركيز الحوامض الامينية في البحار عاليا جدا مطلقا . وبالاخذ بالحساب عمليات الانتاج والتلف ، قام كلاوس دوزه^(٢٤) (Klaus Dose) بحساب تركيز الحوامض الامينية في البحر البدائي بكونه زهاء (١٠^{-٣}) مولار، ووجد اين لاهاف (N. Lahav) واس چانك^(٢٥) (Chang) ان التصاب او امتزاز الحوامض الامينية عند مستوى (٨^{-٣}) اضعف بكثير مما كان يساعد هذه المونومرات على التراكم على أسطح الصلصال، وهذا يطابق ما كان برنال^(٢٦) قد ابداه . لهذا السبب يظن الخبيران المتقدمان أن أي تفاعل في الصلصال كان ستسببه خطوة تركيز كمن قبيل التبخر في بحيرة او غدير .

لقد وجد ان اطيان الصلصال كانت نادرة في رواسب دهور ما قبل الكمبري^(٢٧)، لكن رغم انها ربما لم تكن غزيرة كتراكم الاطيان الصلصالية من الصخور الرسوبية ، فإنه مع ذلك يمكن ان ينجم الصلصال من استحالة الزجاج البركاني الى صخور طفالية او صلصالية . ان الفعل الحرارمائي (hydrothermal) للنافورات البركانية أو التعرية على الارمدة والطفة البركانية يؤدي في الاغلب الى انتاج صلصال المونت موريلونيت^(٢٨) . وعليه فلربما كان توجد اطيان صلصالية في الدهر الاركي لتنفق بلمرة الحوامض الامينية، كما طرحته بيخت هوروفتز وزملاؤها .

للتفاعل الصلصالي التحفيز جدارة انما له ايضا منقص بنفس الوقت . ان السمة البارزة لتفاعل التكثف على الصلصال هي انه تكثف في الفاصل البيني (interfacial) ، وهي آلية شديدة الشبه او التماثل بالمنظومات البيولوجية التي تكون فيها البنية البدنية بالغة الاهمية ، كالتفاعلات السطحية التنشيط في سطحي البني (interfaces) الماء - الدهنيات ، فضلا عن ذلك لقد اوضح ارمين فايس^(٢٩) (Armin Weiss) من جامعة ميونيخ ان بإمكان منظومات الصلصال

اللاعضوي أن تعمل كحاملات معلومات بعملية التكاثر الذاتي التلقائي .

لكن الاعتراض الأكثر خطورة على التفاعل ليس موجها الى آليته، وانما الى امكانية انطباقه . ان التجارب التي أقامتها بيخت هوروفيتز، واكابوري، وفوكس، وغيرهم، قد حاولت أن توضح بالمثل الاحوال الجيولوجية التي كان يمكن ان تنتج عنها بولي هضميتيدات كبيرة على ما يظهر مع الافتراض أن مثل هذه العملية يمكن بالنهاية ان تنجم عن تمثيل ما قبل البيولوجي للانزيمات او مواد شبه انزيمية . ومتى ما توفرت البولي هضميتيدات لتحفيز التفاعلات الضرورية البيوكيميائية سيكون بإمكان خلية حية وظيفية ان تلتئم . لكن امكانية نشوء أي شيء يشبه الانزيم ابدًا من هذه التفاعلات امر مشكوك فيه للغاية . ثم من جانب آخر، ان هذه كلها مسائل درب مسدودة ، ولم يكن سياق اية بولي هضميتيدة ذات فائدة سيتم الاحتفاظ به وتناقله الى الاجيال المتعاقبة، لعدم كونه متأثرا من منظومة تناسخية .

محمّد يوسف الدويهي



الفصل العشرون - غموضية الانزيمية

بدأت الانزيمية دائما محفوفة بظل من الغموضية والابهام. كما ان الطبيعة المتناهية في النوعية لنشاطها ووتأثيرها المذهلة في تحفيز التفاعلات قد أطرّتها بما يوحي ان لابد ان الانزيمات خلائق فريدة تقف على جانب من سواد المواد الكيميائية الاخرى . انما سواء كانت الانزيمات من السواد أم خلافه ، فهي ليست اكثر من مجرد جزيئات كبيرة قد شحّذها التطور وشذبها الارتقاء الى دقة باهرة وقدرة عجيبة على مر اربعة آلاف مليون سنة من التهذيب .

اننا ندرس اشكال الحياة المعاصرة وندهش مختارين من تناهي تعقيدها البيوكيميائي . فحتى ابسط بكتيرة على الاطلاق تضم ما بين الفين الى ثلاثة آلاف (٢٠٠٠-٣٠٠٠) انزيمية مختلفة لانجاز عملياتها التايضية . تعمل ماكنتها الخلوية التي تسيرها الانزيمات بمنتهى السلاسة والاقتدار وبما يوحي الى الناظر أن الانزيمات بحالتها الحاضرة كانت جوهرية لتكوين اية منظومة بيولوجية اولية . لكننا تتأمل جهازا أحدث من ذلك بأشواط شاسعة . والحياة لم تبدأ مع الانزيمات، انما بالاحرى تطورت معها عبر دهور من التبدل الطفرة والتكيف . ولكي نفهم كيف تمكنت الخلية الاولى من البدء على الطريق المؤدي الى منظومة حية تعمل كليا بأمرة وتحكم الانزيمات، يقتضي بنا ان نتعرف على ما الذي يجعل الانزيمية تشتغل، ولكي نفهم الانزيمات يقمن بنا أن ندرك ونقدر خصائص البروتينات واهميتها الفريدة ، وذلك لأن الانزيمات هي بروتينات .

ما ان أصبحت البروتينات جزءا من المنظومات البيولوجية حتى أضفت عليها تنوعية مكنتها من خلق الصفات الفردية المميزة لكل كائن حي . توجد عشرات الآلاف وربما ما ينوف على مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) بروتينة مختلفة في



كل جسم بشري ، وتمثل اكثر من نصف الوزن الجاف للبدن، وتتراوح بالحجم الجزيئي من ستة آلاف (٦٠٠٠) الى ما يناهز عشرة ملايين (١٠ ٠٠٠ ٠٠٠)، غير اغلبها يقع في ما بين اثني عشر الفا وستة وثلاثين الفا (١٢٠٠٠-٣٦٠٠٠) أي من مائة الى ثلاثمائة (١٠٠-٣٠٠) حامض اميني، وهو حجم سلاسل البولي هضميتيدات التي تقوم الريبوسومات بتمثيلها، أي صنعها، عادة.

تعمل البروتينات بصفات عديدة • فالبروتينات كالميوسين (myosin) والكولاجين (Collagen) تؤلف المكونات البنيوية للعضل والانسجة الضامة او الرابطة بمثابة كيراتين (keratin) تكون الشعر والاففار ، وكأنزيمات تقوم بضبط وتسيير جوهريا كل تفاعل بيوكيميائي، وكهورمونات (hormones) تعمل بصفة العوامل التنظيمية للعمليات الخلوية • والبروتينات اجسام مضادة (antibodies) تعمل في التجاوب الحصين ضد البروتينات الاجنبية، وكهستونات (histones) وبروتامينات (protamines) تقوم بكبت الجينات غير المطلوبة. فما هو السر في تكليف البروتينات بكل هذا العدد الكبير من الوظائف في عمليات الخلايا؟

والجواب هو ان بوسع البروتينات أن تنجز ما لا تستطيع افجازه الامواد غير قلائل غيرها ، ألا وهو تمييز الجزيئات الاخرى، ومقدرة البروتينات على تشخيص الجزيئات تعطي الانزيمات نوعيتها الدقيقة المتناهية • لقد اعتمد تطور المنظومات الحية الى عدد كبير من التفاعلات البيوكيميائية على قدرة الخلية على تنسيق عملياتها العديدة والتحكم في كيفية توجيهها. وتسنى هذا بفضل تنمية الخلية انزيمية معينة لمتابعة كل تفاعل. ولهذا السبب ليست الانزيمات محفزات نوعية يحار العقل ازاءها فحسب، بل ان عددها ضخم للغاية ايضا.



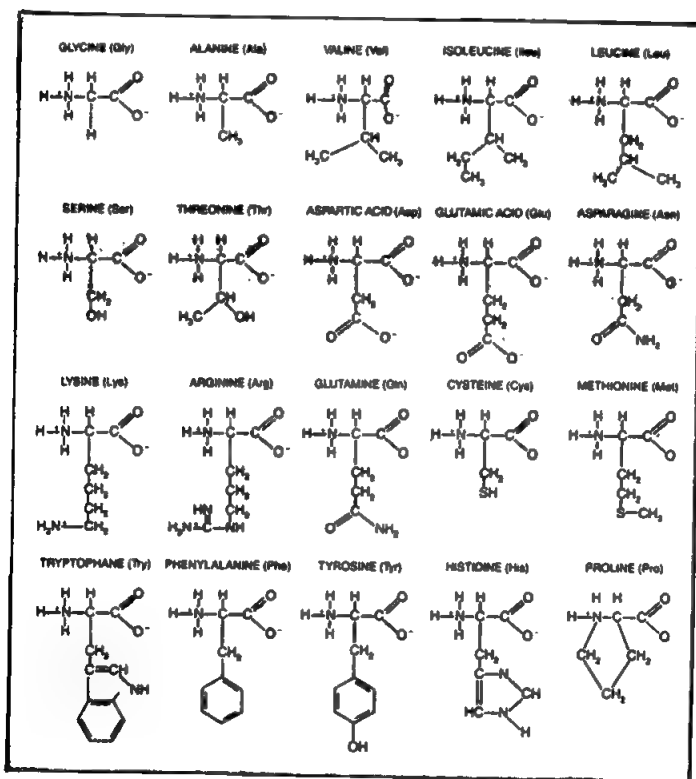
فما هو مدى تعقيد البنية الكيميائية للانزيم الواحدة ، وكيف امكن لكل هذا العدد العديدين من الجزيئات المعقدة ذوات هذه الدقة الباهرة أن تنشأ خلال فترة الحياة على الارض؟

اننا نعلم أن جميع البروتينات عند تسخينها في حامض الهيدروكلوريك عياري^٦ (6 Normal hydrochloric acid) بدرجة حرارة (١١٥°) مئوية لعدة ساعات . تتم حلماؤها الى وحداتها الفرعية ، وهي الحوامض الامينية . والحوامض الامينية في البروتين موصولة معا في سلسلة طويلة مع كون تعاقب ترتبتها بالاساس المسؤول عن فرديتها . يوجد حوالي عشرين حامضا امينيا عاديا (أنظر الشكل ١/٢٠) وهي تشكل الفباء بنية البروتين . وهذه البنية بمثابة لغة مكتوبة ، والحوامض الامينية هي الحروف التي تشكل الكلمات التي يتم صوغها في جمل ، وهذه بدورها تصبح الرسالة التعبيرية التامة . ويتم تفسير الرسالة ، وهو دور البروتين البيولوجي ، في مجموع بنية الجزيئة الكلية .

تعتمد مقدرة البروتينات على التمييز بين الجزيئات المختلفة على شكل او كم البروتينات الثلاثي الابعاد ، وفيما تطورت الحياة وازدادت تعقيدا ، ازداد تعقيد بروتيناتها ايضا . وأدرك البيوكيميائيون انهم ان أرادوا أن يفهموا كيف تشتغل البروتينات في الخلية الواحدة فانه يقتضي بهم التعرف على شكلية الترتيبية المجسمة للجزيئات بكل دقائقها التفصيلية . وأصبحت هذه احدى أشق وأصعب المهام التي واجهتها الدراسات والبحوث لفك رموز كيمياء الحياة وكشف اسرارها .

تتألف البولي هضميتيدة الواحدة من سمط من الحوامض الامينية متصلة في سياق (أنظر الشكل ٢/٢٠) . لكن عندما تكون الجزيئة كبيرة كما هي بالنسبة الى البروتينات ، لا تكون طويلة بل مشوهة بعدد من العوامل في تضريسة مجسمة . تتيح تنويع المجموعات الوظيفية في السلاسل الجانبية

للحوامض الامينية قيام التفاعلات التي تؤدي الى استقرار أو تهدئة بعض التفاعلات الشكلية وتخل باستقرار غيرها ، وبوسع مجموعات الكبريتيد (sulfhydryl) لسيسيتين اثنتين (cystines) ان تتأكسد لتشكل رابط ثنائي الكبريتيد (disulfide) القوي . كما بوسع مجموعات ثوريد الهيدروجين من مثل ($>NH$) تشكيل اربطة هيدروجينية مع مجموعات الكربونيل ($>C=O$)



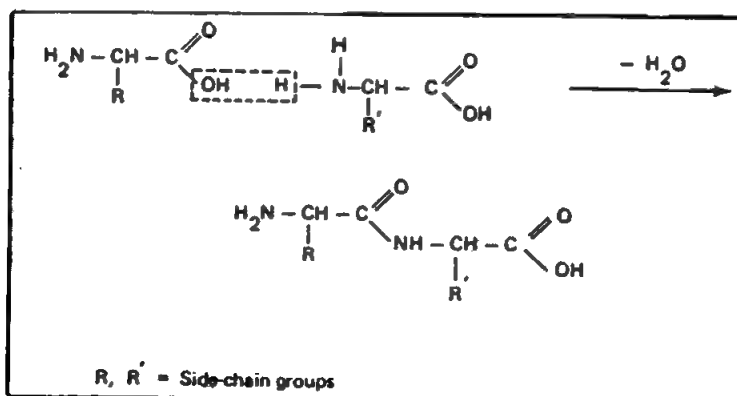
الشكل ١/٢٠ - الحوامض الامينية الشائعة العشرون الموجودة في البروتين .



(أَنْظِر الشَّكْل ٢٠/٣) • كما بوسع الصد الحيزي أو الجسم (steric repulsion) السلاسل الجانبية الضخمة الحيلولة دون اصطاف بعض التطابقات الشكلية (conformations) ، فضلا عن أنه بوسع الماء بكونه بنية ذواية (solvating structure) حول المجموعات المشحونة والقطبية بذل تأثير كبير.

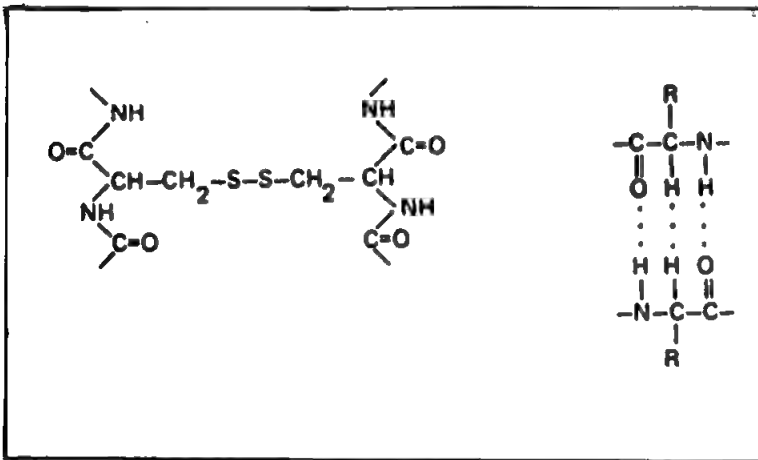
قام الكيميائيون بتصنيف بنى البروتينات الى اربع مراحل لىتمنى تعريف اشكالها وأحجامها الثلاثية الابعاء. أن البنية الاولى الاساسية للبروتينات هي سياق الحوامض الامينية في سلسلة البولي هضيتيد • أما المراحل الثلاث الاخرى فهي ترتيبات حيزية او مجسمة مختلفة تتخذها سلسلة البولي هضيتيد اما بمفردها او مع بولي هضيتيدات أخرى •

اكتشف لينوس بولينك (Linus Pauling) وروبرت كوري (Robert Corey) وزملاؤهما^(١) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ان الطريقة الوحيدة التي تتشابه بها لبنات البناء اللامتناظرة للبولىمر بحيث تملك كل منها نفس العلاقة بجارتها هي بتشكيل لولب كالدرج الحلزوني • وعليه يصبح تلولب الحوامض الامينية البنية الثانوية للتشكيل البروتينية (راجع الشَّكْل ٢٠/٤) •



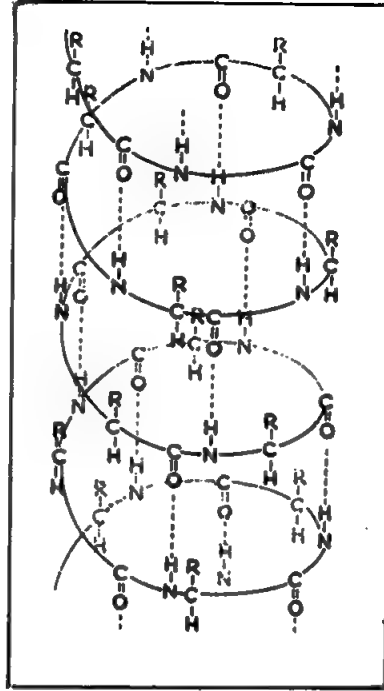
الشَّكْل ٢٠/٢ - هضيتيد ثنائية • A dipeptide

أما المرحلة الثالثة للترتية الثلاثية الابعاد فهي الكيفية التي تنعطف بها سلسلة البولي هضميتيد وتتحوى وتلتف حول نفسها في شكل معين تصطف معه مجموعات السلسلة الجانبية لحوامض امينية مخصوصة في التوجه المضبوط تماما. عندما تنطوي سلسلة البولي هضميتيد، تجنح الى دفع المجموعات القطبية الى الخارج حيث ترتفع هذه بجزيئات الماء، وسحب المجموعات اللاقطبية الى الداخل فتقوم هذه بتشكيل التفاعلات المنافرة للماء، وبالنسبة تقضي هذه العملية الى شكل كروي للبروتين له باطن شبه دهني وسطح قطبي وايوني • (أنظر الشكل ٢٠/٥).



الشكل ٢٠/٣ - هضميتيدات متحدة برابط من ثنائي الكبريتيد ، واربطة هيدروجينية.

يوجد مستوى رابع من التنظيم للبنية البروتينية ، وهذه هي المرحلة الرابعة • هنا، بدلا من سلسلة بولي هضميتيد مفردة ، بوسع عدة بولي هضميتيدات، أما ماثلة أو مختلفة ، كل منها مع بنيتها الاولى والثانوية والثالثية، من الارتفاق في بنية منظمة تملك خواصا ونوعيات لا تبديها أي من الوحدات المونومرية.



الشكل ٢٠/٤ - بنية لولب الفا للبروتينية *

كانت الخاصية الرهية للانزيمات التي واجه العلماء مشقة عظي في تفهمها هي كيفية تمكنها من تنفيق التفاعلات بهذه السرعة ولتفاعل واحد نوعي فقط . قام اميل فيشر (Emil Fischer) ، الكيميائي الالماني الذي اوضح طبيعة رابط الهضمييد في عام ١٩٠٢ ، بتحري هذه المسألة . وعندما اكتشف ان الخميرة تنمو على الايسومردي (D-isomer) للسكر انما ليس على الايسومر ايل (L-Isomer) ارتأى أن لابد من وجود طريقة يتمكن بها ايسومر واحد فقط من جزيئة السكر من الدخول أو التراكب تماما في الانزيمه اشبه

كثيرا بتراكب المفتاح في القفل . فأصبحت هذه فرضية القفل والمفتاح لشرح التفاعل النوعي بين الانزيم ومادتها السفلية (substrate) ، أي الجزيئات التي تعمل عليها الانزيمات .

في عام ١٩١٣ قام ليونور ميخائيليس (Leonor Michaelis) ومود منتون (Maude Menton) بالتوسيع على فكرة القفل والمفتاح ليفسر، وطرحا ان النوعية التخصصية العالية للانزيمات تنشأ من قيام الانزيم بتوفير موقع في سطحها تتمكن جزيئة من المادة السفلية من الارتباط به بكيفية دقيقة وصحيحة فتشكل بذلك شبكية وسيطة بين الانزيم والمادة السفلية . ومتى ما تتكون الشبكية تقوم المجموعات التفاعلية في الانزيم بتنسيق التفاعل الكيميائي المطلوب على المادة السفلية .

عندما تقدمت كيمياء البروتين الى حيث امكن معه تشخيص الحوامض الامينية الكائنة في الموقع الفعال بسياقها الاول، اكتشف الباحثون ان الحوامض الامينية المشاركة كانت في العموم بعيدة عن بعضها البعض تماما في موضعها في سلسلة البولي هضمييد الطويلة . وبدا الآن واضحا لماذا تطورت الانزيمات الى هذه الاحجام الكبيرة للغاية . لقد كانت ذلك بحكم الضرورة . يتم تمثيل سلاسل البولي هضمييد كسياق طولي من فضلات الحوامض الامينية ، لكن لما كانت وظيفة الانزيمات تتوقف على شكلها الثلاثي الابعاد لكي تتمكن من تمييز المادة او السطح السفلي وتجعل المجموعات موجهة بدقة للموقع الفعال ، فانه بوسع سلسلة الحوامض الامينية تحقيق هذا فقط بامتلاكها بوليمرا طويلا بما يكفي ليتسنى تعويجه في شكل مكعب او كروي (globular) .

لم يمكن التثبت من البنية الثلاثية الابعاد التامة لأية أنزيم حتى عام



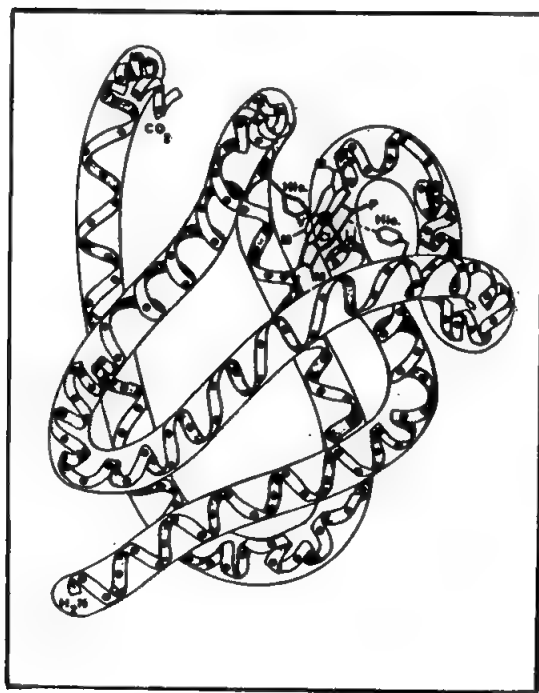
١٩٦٦. وهذه انزيمية كان الكزاندر فليمنك (Alexander Fleming) أول من لاحظها في عام ١٩٢٢، وفليمنك هذا هو مكتشف البنسلين. اثناء عمله في لندن اصيب فليمنك بزكام اضطره الى ملازمة الفراش، وبدافع طبيعته الفضولية الاستطلاعية، استغل هذه المناسبة لوضع قطرة من مخاط أنفه في زرعة من البكتيريا. وبعد مرور بضعة ايام وجد، لشدة دهشته، ان البكتيريا الاقرب الى قطرة المخاط كانت قد أكلت وأختفت. وأدرك فليمنك آنذاك ان استهلاك البكتيريا يعزى الى أنزيمية، ولما كان بوسع هذه الانزيمية اذابة الخلايا البكتيرية، أطلق عليها اسم الليسوزيمية (lysozyme = ذوبزيمية).

ان الليسوزيمات واسعة الانتشار وقد وجدت في اعضاء عديدة وفي خلايا ويلازما الدم، وفي اللعاب والحليب، والدموع، وآح أو ايض البيض. وليسوزيمية آح او زلال البيض هذه، التي قام بالتثبت من بنيتها الاولية منفصلا پير جوليه وزملاؤه^(٢) (Pierp Jollès) بجامعة باريس، وروبرت هي كانفيلد^(٣) (Robert E. Canfield) بكلية الطب والجراحة بجامعة كولامبيا، هي بولي هضميتيدة مفردة تتألف من (١٢٩) وحدة فرعية حامض امينية. وبما انه يمكن فض او فتح واعادة طي جزيئة الليسوزيم بسرعة وسهولة، فانه تسمى التثبت من قدرتها التحفيزية (catalysis) ونوعيتها (specificity) وايضا بنيتها الثلاثية الابعاد بواسطة هذه الفضلات فقط.

ان وظيفة الليسوزيمية هي شطر رابط معين من مخطوبولي سكاريدة (mucopolysaccharide)) و ميوكوبولي سكاريدة، وهذه سكرة مشتبكة طويلة السلسلة تشكل أحد مكونات جدران الخلايا البكتيرية، ويتم الانشطار بتحفيز تحلمؤ رابط كاربوني اوكسجيني (C-O). أما كيف تتمكن الليسوزيمية من فلق هذا الرابط النوعي فأصبحت مادة البحث المستهدفة في تحريات قام بها ديفيد فيلبس (David Phillips) وآخرون^(٤) في المعهد الملكي



بلندن في عام ١٩٦٠. كان الهدف هنا رسم البنية الثلاثية الابعاد لليسوزيمة بتفاصيلها الذرية باستخدام أسلوب الكريستالوغرافيا للاشعة السينية. بهذا الاسلوب يتم تسجيل انماط حيود الاشعة السينية ، ويتم تحصيل صورة الذرات في الجزيئة بواسطة الاحتساب^(٥). (ملاحظة: يمكن تسديد المجاهر للامواج الضوئية او حزمة الالكترن ، لكن لم يتم بعد ابتكار اية وسيلة لتسديد الاشعة السينية في فصمة او صورة (image)) .



الشكل ٥/٢٠ - رسم ايضاحي للبنية الاولى والثانوية والثلاثية لبروتين (ميوجلون). والنقاط تمثل الالفا كربون للحوامض الامينية.

تتضمن جزيرة الليسوزيمة زهاء (١٩٥٠) ذرة. استلزمت مهمة التثبيت من البنية الثلاثية الابعاد للانزيمية التحقق من جميع أو تقريبا جميع مواضع هذه الذرات. في عام ١٩٦٢ تمكن فيلبس من الحصول على صورة منخفضة الوضوح للبنية من (٤٠٠) حيودات قصوى وشاهد الشكل العام للجزيرة. كان قد أدرك أن بلوغ هدفه لن يكون سهلا، لكن ترتبية سلسلة البولي هضيتيد كانت أكثر تعقيدا حتى من توقعات فيلبس.

بعد ثلاث سنوات ، بعد تطوير اساليب امضى واكثر كفاءة لمقايسة واحتساب البيانات ، وبعد استخدام زهاء عشرة آلاف (١٠٠٠٠) نمط حيود، تم الحصول على صورة . وفي هذه المرة كان الوضوح عاليا بما يكفي لرؤية وتمييز العديد من المجموعات الذرية ، ووجد فيلبس وزملائه ان الجزيرة المملقة تألفت من ثلاثة اقسام من لولب الفاء وطولين من سلسلة البولي هضيتيد متوازيين في اتجاه معاكس مع عطفة أو ثنية دبوس الشعر في السلسلة ، وطيأت أخرى غير منتظمة للغاية يتعذر وصفها بإيجاز. كانت نتيجة هذا التجمع والتحوي لسلسلة البولي هضيتيد بنية تشكل جناحين يقعان على زاوية من بعضهما، واستحالت الثغرة بين الجناحين الى شق عميق يمتد على احد جانبي الجزيرة . شكل هذا الشق الموقع الفعال للانزيمية والفجوة التي تتراكم فيها المادة أو الطبقة السفلية.

وبدراسة التفاعل بين الليسوزيمية وثمانية سكاكر امينية مختلفة تمكن فيلبس من ايضاح ان الموقع الفعال (active site) كان مربوطا بأربطة هيدروجينية تتألف من ست فضلات من سكر اميني عارية تقع على الطبقة السفلية . والحوامض الامينية العديدة التي تبطن الشق والمسؤولة عن ربط الطبقة السفلية بالانزيمية مبعثرة في منطقة واسعة على امتداد السلسلة . ان الترتبية المفضلة التي يمكن فيها مراكمة نموذج من الطبقة السفلية للانزيمية

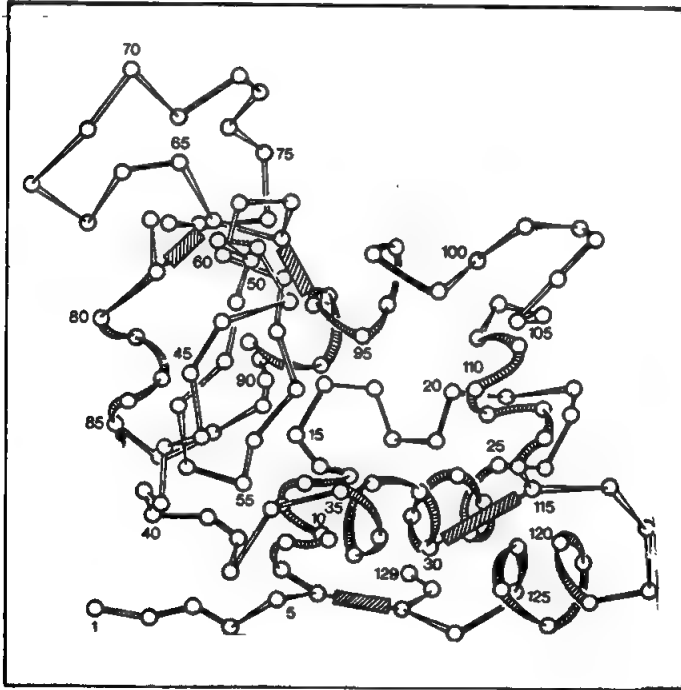


وبهذه الطريقة تم الاحتفاظ بالمعلومات لتنشئة سياقات تامة من الحوامض الامينية واستخدامها لتصنيع انزيمات جديدة فيما اصبحت البروتينات اكبر حجما واكثر تعقيدا.

ظلت آلية التبديل بالطفرة توسع اعداد وأدوار الانزيمات وكذلك البروتينات الأخرى طوال نشأة وتطور الحياة . وكلما يتم التثبت من الكيمياء التفصيلية للمزيد من البروتينات بالاساليب العصرية ، كلما تنكشف لنا عملية النشوء بمزيد من الوضوح. وقد اكتشف ان سياقات الحوامض الامينية في الليسوزيم واللبن البومين أو اللاكتالبومين (lactalbumin) وهو أحد البروتينات الرئيسة في الحليب ، مماثلة لكن وظائفهما مختلفة. وفيما تقوم الليسوزيم بفتح رابط غليكوسيديتي واحد اربعة (B-1, 4-glycosidic) بين السكاكر الامينية في جدران الخلية البكتيرية ، يقوم اللبن البومين الفا (a-lactalbumin) بتسهيل او تمهيد مهمة تمثيل رابط غليكوسيديتي واحد اربعة بين الفلوكوز والغالكتوز (galactose) تكوين اللبنوز (lactose) المعروف عاديا باسم سكر الحليب. يملك اللبن البومين الشكل العام للجزيئة ، مع الموقع الفعال مستبقى ، ولكنه يضم لثريونين (threonine) عند موضع حامض الغلوتاميك الفعال تحفيزيا في الليسوزيم . على ما يظهر تتجت جينات الليسوزيم واللبن البومين من تناسخ الجين في حوالي ما قبل ثلاثمائة وخمسين (٣٥٠) مليون سنة في زمن تشعب السلالة البرمائية من الفرع الذي أدى الى نشوء الزواحف والاطيار والثدييات. ربما ان البروتينة السلاية السلف كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تقوم بها الليسوزيم اليوم، انما اللبن البومين اصبح اكثر تخصصا وهو يوجد اليوم فقط في الاثد المرضعة^(٦) . (أند:ج ئدي).



للانزيمات صفتان جزيئيتان تسببان عليها قدرات رهيبة مذهلة ، هما موقع فعال يقوم بالتحفيز، ومكوّن او مقوم بروتيني (protein component) يقوم بخلق الشكل البدني أو المادي الذي يتقبل الطبقات السفلية النوعية . لم تكن الخلية البدائية الناشئة عن الكيمائيات ما قبل الحيوية لتملك القدرة على تمثيل بولي هضميّيدات كبيرة ولا الدقة النوعية التي تملكها الانزيمات المعاصرة . فلا بد ان كفاءة الانزيمات تطورت بفعل الانتقاء من خلال تطور البروتينات وازديادها في الحجم والارتقاء، غير أن عملية التحفيز كانت ضرورية لتتيح للخلية الارتقاء فوق السواد العادي للتفاعلات الكيميائية.



الشكل ٧/٢٠ - جزيئة الريبونوكلياز . المستطيلات المخططة قطريا تشير إلى جسور ثنائي الكبريتيد الرابطة لاجزاء من سلسلة البولي هضميّيد . أما الاقسام الاخرى المخططة باطنيا فتشير الى لولب ألفا .

والانزيمات التي تتألف من سلاسل البولي هضمييد فقط تقع في الاقلية، فان معظمها تتضمن في موقعها الفعال مجموعة من الانزيمات المساعدة (coenzymes) تقوم بوظيفة التحفيز. توجد مواد كثيرة من شأنها تحفيز التفاعلات الكيميائية كأيونات المعادن المتعددة التكافؤ، ومشتقات الايميدازول (imidazole) وبعض المركبات اللامتجانسة الدائرية (heterocyclic)، فتحتوي مجموعات كبيرة على هذه المكونات الثانوية المساعدة لانشطتها. وهذه الانزيمات المساعدة هي محفزات او عوامل تحفيز لاصناف معينة من التفاعلات الكيميائية لكن بدون المكون أو الجزء المكون (component) البروتيني الملازم، انما ليست محفزة لجزيئات عضوية معينة وتنقصها النوعية الضيقة للانزيمات.

بدأت الحياة من تجمع للمواد في البيئة البدائية، ولم تكن توجد آنذاك اية بروتينات ما قبل الحيوية، لكن الخلايا الناشئة اتخذت بكيفية ما آلية خلوية بسيطة أطلقتها في طريق تمثيل البروتينات بهدف الرفع من القدرة التحفيزية. يوجد ما يحمل على الاعتقاد بأن هضمييدات ما قبل الحيوية كانت متوفرة^(٧)، وعلى ما يظهر بدأت الخلايا البيولوجية بمحفزات مشبوكة بهضمييدات صغيرة نسبيا كانت متواجدة في البيئة.

ان الفريدوكسين من اوضح الامثلة على انزيم بدأت صغيرة وتطورت بالحجم والقدرة على مر الدهور. هذه البروتينة الحديد-كبريتيدية جوهريّة الضرورة لاختران الطاقة الملتقمة من ضوء الشمس ونقل الالكترونات. وبحسب رأي دايهوف^(٨) ربما ان الفريدوكسين السلف كان تشبيكة من كبريتيد الحديد الثنائي التكافؤ مع هضمييدة تتألف من اربعة حوامض امينية هي: الالانين، والغلایسين، وحامض الاسبرتيك، والسيرين. هذه هي اربعة من الحوامض الامينية الاكثر شيوعا المتكونة في تجارب الافتعال، ويتم انتاجها بسرعة وسهولة بتسخين سيانيد الامونيوم.

الفصل الحادي والعشرون - تجبير الجينات

ربما لم يكن التواجد ما قبل البيولوجي لبولي هضميتيدات كبيرة ضروريا لنشأة خلية حية ، لكن البولي نووتيدات كانت بالحثم جوهريّة الضرورة . من الصفات الانسانية للمنظومات البيولوجية التي تجعل الحياة ممكنة هي تناسخ حوامض النويك وترجمة بنياتها الى بروتينات . تبقى جميع المحاولات المبذولة لابتكار منظومات تكاثريّة غير مبنية على حوامض النويك وكان يمكن ان تكون قد سبقت المنظومات البيولوجية الى التواجد ، غير مقنعة . ويبدو انه لن يتسنى حل لغز نشأة الحياة الا عندما يتسنى ابتكار اسلوب يوضح بالمثال المشهود كيف امكن أن تتبلر النووتيدات في الاحوال ما قبل البيولوجية على الارض البدائية .

توجد اربعة اصناف رئيسة من النووتيدات هي : الحوامض الادنيّة (adenylic AMP) ، والغوانينية (guanylic GMP) ، والسيتيديلية (cytidylic CMP) ، واليورديلية (uridylic UMP) . كل نووتيدة هي وحدة مشيدة من قاعدة بيورين وبيريميدين ، وسكر خماسي الكربون (5-carbon sugar) وحامض الفوسفوريك . والنووتيدة التي تنقصها مجموعة الفوسفات تسمى بالنووسيدة . وفي وصف النووتيدات يجري ترقيم مجموعات الهيدروكسيل في الريبوز لغرض تأشير موضع ارتباط الفوسفات . في حوامض النويك ترتبط النووتيدات معا في جزيئات بوليمرية شبه سلسلية بواسطة جسر فوسفاتي بين موضع (3' = 3) من سكر احدى النووتيدات الى الموضع (5' = 5) من المونومر المجاور ، والنووتيدات التي تشكل الدنا تختلف عن تلك التي تشكل الرنا بانعدام الهيدروكسيل في الموضع (4' = 2' =

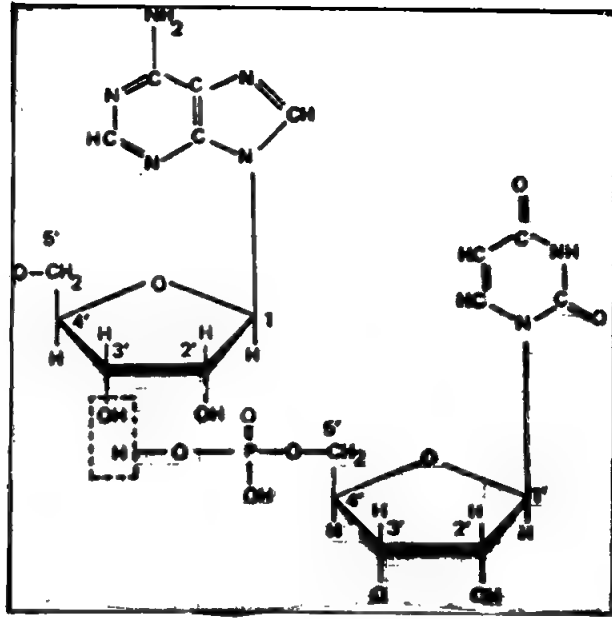


في الريبوز، ولذلك تسمى حصة السكر ٢-دي اوكسي ريبوز (2-deoxy ribose) وحامض الذي اوكسي ادنيليك (deoxyadenylic acid=d-AMP) ونووتيدات الدنأ: (DNA) الأخرى مؤشرة بالبادئة (دي de—)

كانت مهمة الباحثين في دراسات نشأة الحياة ايجاد حالة جيولوجية طبيعية كان يمكن فيها ان ترتبط النووتيدات نهاية بنهاية (end-to-end) خالقة بذلك حوامض نوويك ما قبل البيولوجية . يأتي ليزلي اورجيل (Leslie Orgel) من معهد صولك وجماعة خوان اورو (Juan Oro) من جامعة

هيوستون بين الباحثين الذين لا يزالون يبذلون الجهود لايجاد تمثيل لا حيوي لبولي نووتيدات في احوال افتعالية ليئة الارض البدائية.

كما بالنسبة الى الحوامض الامينية ان بلمرة النووتيدات هي تفاعل تخفيفي يتوجب فيه نزع جزيئة من الماء من كل رابط يتكون بين مونومرين اثنين . للأسف، تصبح المسألة عسيرة باللاتفاعلية النسبية لحامض الفوسفوريك وعجزه عن تكوين رابط ايستر مع هيدروكسيل السكر، فلا يمكن تكثيف النووتيدات بمجرد التسخين بسبب التحطم الحلحراري (pyrolysis = تحليل او تفسخ المادة كيميائيا بالحرارة) الذي يحصل قبل تكون الايستر. وقد جرى تكثيف بعض النووتيدات باستخدام مفاعلات^(١) مختبرية، انما بقيت مشكلة اكتشاف الظروف الطبيعية على الارض البدائية التي كان يمكن فيها أن تتكون بولي نووتيدات لا حياتية، واستدعى حل اللغز اكتشاف سر الطريقة التي كان يمكن للنووتيدات أن ترتبط معا بها لتكوين الجينات للخلايا الاولى.



ليست النوتيدات مجرد كيميائيات عادية • فهذه الوحدات الكيميائية المتكونة من ارتباط البيورين أو البريميدين بمجموعة من حامض الفوسفوريك والريبوز تتضمن خواص فريدة تعطيها سلوكا كيميائيا نوعيا ابتنت عليه الخلية الحية • واحدى هذه الخواص هي امكانية تنشيط المونونوتيدات الى مشتقات البولي فوسفات بمزيد من الفسفرة ، وبهذه الطريقة يتم خلق وحدات فوسفاتية عالية الطاقة لحمل الطاقة الكيميائية (high-energy phosphate carriers of chemical energy) • لكن مفذاذية النوتيدات هي ان الترابط الهيدروجيني بين الازواج المتتامة القاعدية يقدم آلية صحيحة التوجيه ضمنية لتصنيف النوتيدات هي بالاصل أساس قدرتها على التناسخ وعلى ترجمة بنيتها من خلال المدونة الجينية.



هذا التفاعل بين البيورينات والبريميدينات من خلال الترابط الهيدروجيني هو الاساس الجزيئي للكثير من الانشطة البيولوجية للحوامض النووية. ان الرابط الهيدروجيني ذو طاقة منخفضة تقع في زهاء خمس (٥/١) طاقة الاربطة الكيميائية العادية لكن مع سلاسل البولي نووتيدات مقترنة بأوهان مزدوجة يمكن أن تكون قوة الشد كبيرة بمجرد فعل الربط المتراكم . كما ان الازدواج القاعدي ايضا نوعي للغاية ، فالقوانين يتحد مع السيتوسين والادينين مع اليوراسيل ، وهو انتظام ذاتي ضمني يلزم الطبيعة الكيميائية للجزيئات .

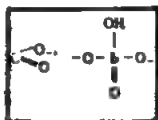
ان التصنيف أو التوجيه الصحيح للنووتيدات في مواضعها قبل التكثيف خطوة لها اهميتها في عمليات البلمرة البيولوجية واللايولوجية . عندما قام كورنبرغ وآخرون^(٢) بضرب المثال على انه يمكن تمثيل حوامض النوويك خارج الخلية الحية باستخدام الانزيم بوليمراز (polymerase) وايونات المغنيسيوم العاملة على ثلاثي فوسفات النووسيد ، اعلنوا ان البلمرة كانت بطيئة جدا الا اذا أضيف اليها حامض نوويك مشعيل (primer) ليعمل كقوالب مطبوعة او مرسومة (template) .

كان هذا الترافف الذاتي للنووتيدات هو الذي حاول ليزلي اورجيل وجماعته من معهد صولك استخدامه للاستعانة به لبلمرة النووتيدات في محاليل مائية في بحوثهم عن التكون ما قبل البيولوجي للبولي نووتيدات . أما بالنسبة الى النووتيدات فانهم اختاروا استعمال المونوفوسفات لأنها أكثر استقرارا من ثنائي وثلاثي الفوسفات وكانت لتكون أكثر انتشارا في الارض ما قبل البيولوجية . وأضافوا حامض البولي يوريديليك كمرسومة يترافف عليها الاحادي او المونوفوسفات الادنيليك (AMP) لغرض تكثيفه .



لكن لما كانت مجموعة الفوسفات غير شديدة التفاعلية مع هيدروكسيل السكر لتكوين الرابط الاسهافي الثنائي الايستر (diester linkage) حاولوا ملافاة هذه المشكلة باستخدام ثنائي اميد الكربون (carbodimide) قابل للذوبان بالماء كعامل تكثيف .

ثنائي اميدات الكربون هي معاملات (reagents) مختبرية تتشابه مع المجموعات اللايوية لتشكيل مشتقات منشطة تتفاعل بسرعة مع الهيدروكسيولات أو الامينات (amines) لاتاج الاسترات أو الامينات المعنية. على سبيل المثال:

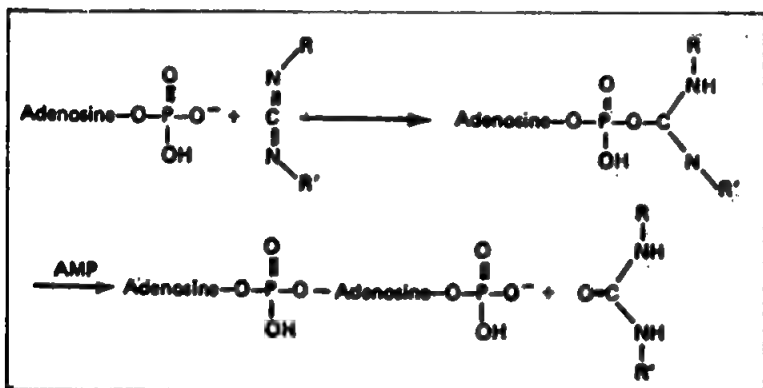


وأبانت نتائج التجربة مع احادي فوسفات الادنيليك (AMP) على حامض البولي يوريديليك مع ثنائي اميد الكربون ان اقتران جزيئات ال AMP حصل وكان مستحثا بالمرسومة لكن التفاعل كان ضعيفا للغاية . زيادة على ذلك لم تكن الثنائيات = dimers = ثنائي، و mer كاسعة لتشكيل البادئة ، على غرار (poly-mer) التي تكونت من الترابط الاسهامي (3، 5-linkage: 3، 5-linkage) الموجود في حوامض النوويك ، وانما خليطا من ثنائي نووتيدات ذوات اربطة (2، 5- and 5,5-)

حاول اورجيل وجماعته سبيلا آخره بدلا من استخدام المونوفوسفات اللاتفاعلية نسبيا، اعزموا الآن على استخدام المشتقات المنشطة للنووتيدات كمواد الانطلاق، معللين ذلك ان عندما تقوم المنظومات البيولوجية بصنع حوامض النوويك تستخدم مشتقات ثلاثي الفوسفات كعوامل التفاعل . لكن



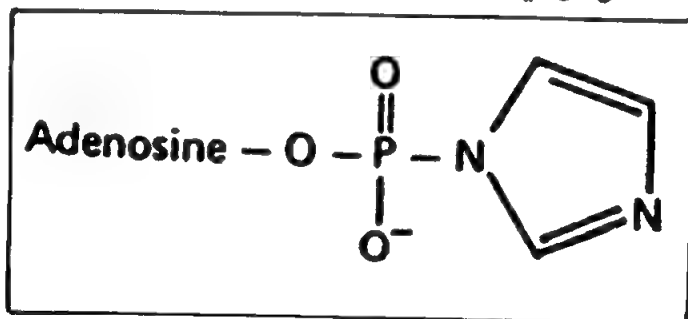
المتعضيات تملك انزيم لتنفيق تفاعل البلمرة • وعند خلط الأتب مع المرسومة (template) في ماء يتضمن ايونات المغنيسيوم، كوّن الأتب شبكة لولبية مستقرة مع حامض البولي يوريديليك، ولكن بعد ذلك تحلماً الى أدب وأمب (ADP → AMP) • وبدت بولي فوسفات النوسيدات مختلة الاستقرار للغاية في الماء يمكن اعتبارها الجواب، مما دفع الباحثين الى التفتيش عن صنف آخر من النووتيدة المنشطة التي يمكن أن تكون قد تواجدت على الارض ما قبل الحياتية وكانت اكثر استقرارا في تلك الاحوال مما هي ثلاثي الفوسفات.



الشكل ١/٢١ - فوسفوراميدات A phosphoramidate

اكتشف احد افراد الجماعة وهو ايل لورمان (L. Lohrmann) أثناء فحص سلوك الامينات، بما فيها الحوامض الامينية ، عند تدفيتها مع الأتب والمغنيسيوم ++ (Mg++) في الحالة السائلة وفي الحالة الجافة ، اكتشف مسلسلا من التفاعلات نادرة غريبة. تتفاعل الحوامض الامينية مع الأتب عند تواجد ما يكفي من مغ ++ (Mg++) لتشكيل الفوسفوراميدات (phosphoramidates) • كما ان امينات أخرى، بما فيها الامونيا ، والايמידازول

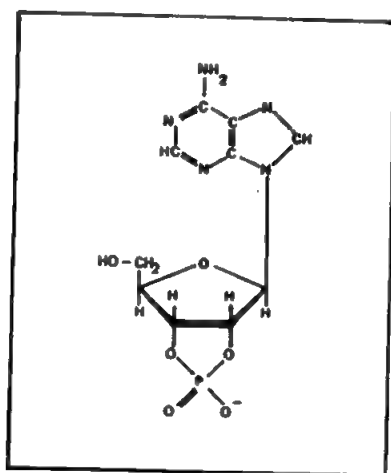
والاثيلين ثنائي امين (ethylenediamine)، ايضا اعطت فوسفوراميدات مع أتب وبولي فوسفات أخرى. تتمثل أهمية الفوسفوراميدات في انها شديدة المقاومة فوق العادة للحلأة في السائل القلوي مع بقائها مع ذلك منشطة مع مجموعة الفوسفات. اكتشف لورمان^(٤) أن مشتق الايميدازول من حامض الادنيليك، وهو خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين (adenosine 5'-phosphoramidazole) يتكثف بكفاءة عالية جدا على مرسومة حامض البولي يوريديليك ليفضي الى ثنائيات (dimers) واوليفو نووتيدات اعلى. وهكذا نرى تفاعلات الحوامض الامينية او الايميدازول أو امينات أخرى المحفزة بالمنع $+$ كان بوسعها ان توفر مشتقات النووتيد التي كانت تساهم مباشرة في عمليات التمثيل ما قبل الحياتي للبولي نووتيدات. والعوامل الوسيطة المنشطة (intermediates) التي تكونت على افضلها في الاحوال الجافة كانت لتتكون في الحالة الصلبة وتتفاعل فيما بعد في تواجد قدر قليل من الماء لتشكل نووتيدات مكثفة.



الشكل ٢١/٢ - خماسي فوسفوراميدازول الادنوسين *

قام رتنس (Renz) ولورمان واورجيل^(٥) بمزيد من التحري للتفاعل باستخدام ثنائي، ثلاثي، - فوسفات الادنوسين (adenosine 2', 3'-phosphate)

وهو الايستر الباطني الدائري لحامض الادنيليك • تمثل ثنائي، ثلاثي، -
 الفوسفات الدائرية الناتج الرئيس في فسفرة النوتيدات المحفزة باليوربا في
 الحالة الجافة وكانت لتكون شكلا كيميائيا معقولا للنوتيدات على الارض
 البدائية ، لم تتكشف ثنائي، ثلاثي، - فوسفات الادنوسين على مرسومة
 حامض البولي يوريديليك مع ايونات المغنسيوم ، لكن عندما استعوض عن
 الايونات بمحفزات بسيطة كالفلايسيناميد (glycinamide) أو ثنائي امين
 ثيلين (ethylenediamine) أو ثنائي امين البولي اثيلين، تم الحصول على
 نواتج جيدة من ثنائي وثلاثي النوتيدات ، ربما ان الوسيط الفعال في التفاعل
 كان الفوسفوراميدات الذي تكون بالنوتيد والامين •



الشكل ٢/٢١ - ثنائي، ثلاثي، فوسفات الادنوسين

حتى هذا الوقت كانت جماعة اورجيل تسعى جاهدة لايجاد السبل
 التي كان يمكن ان تبلمر بها النوتيدات في السائل في أحوال تفتعل
 البحار البدائية • وذلك لأن هذه المرسومة كانت جوهرية للجمع بين المونومرات

للتفاعل . غير ان هذا الاسلوب كان سيستلزم تفسيراً للظهور ما قبل الحياتي
 للمرسومة . ثم اكتشف فرلاندر (Verlander) ولورمان واورجيل^(٦) ان
 المرسومة غير ضرورية في احوال معينة . عندما ترك خليط التفاعل من ثنائي،
 ثلاثي، فوسفات الازنوسين مع الامينات الالفاتية في مستوى 10^{-3} قلوي
 ليتبخر حتى الجفاف والترخم (incubate) بدرجة حرارة (٨٥-٩٠) مئوية حصل
 تبلر ذاتي للنووتيد الدائري . تم الحصول على اوليغومرات حتى السداسي
 (hexamer) بكميات جيدة مع خمسة بالمائة (٥٪) من الناتج اكبر من طول ست
 وحدات . وكان طول الجينة الاولى قد تمدد الى ست وحدات فرعية .

لم يكن التفاعل المستخدم نووتيدات دائرية مقصوداً على مشتقات
 الازنوسين ، عند تسخين ثنائي، ثلاثي، فوسفات السيتدين في درجة حرارة
 (١٣٨) مئوية لمدة يومين حصل كلود تايبرو (Claud Tapiero) وجوزيف
 ناجيفاري^(٧) (Joseph Nagyvary) على اوليغومرات بأطوال حتى السداسي في
 نواتج خمسين بالمائة (٥٠٪) . وهذه درجة حرارة عالية ولكنها تقع دون
 مستوى (١٤٠) مئوية حيث يبدأ التفسخ البطيء . وكان جيه شكودا (J. Skoda)
 وزملاؤه^(٨) قد اوضحوا قبل ان ثنائي، ثلاثي، فوسفات اليوريدين أعطت
 تبلراً مماثلاً .

وفيما كان كل هذا دائراً ، كان خوان اورو وجماعته في هيوستون
 يحاولون بلورة النووتيدات بطريقة أخرى . كما سلف ذكره فقد تبين ان مركبات
 الايميدازول عوامل تفاعل مناسبة لتكثيف النووتيدات . في عام ١٩٦٩ أعلن
 أو بونكز (O. Pongs) وببي أو بي تسو (P.O.P Ts'o) وهما كيميائيان من
 جامعة جونز هوبكنز عن بلورة خماسي- فوسفات الثايميدين (d-Tmp)



كلية الى اوليغونويدات ثلاثية، خماسية، الترابط (3', 5'-linked) في ناتج يتراوح ما بين اربعين الى خمسين (٤٠-٥٠٪) بالمائة باستخدام حامض رباعي (4(5)-propanic acid) كمحفز. غير ان احوال التفاعل استدعت اعادة الشطف او التبخير (reflux) لمدة ربع ساعة في المذيب المختبري ثنائي ميثيل فورماميد (dimethylformamide) . ورغم ان الاحوال لم تكن ذات صلة ببيئة جيولوجية ، فان التحفيز والنتائج كانت مماثلة للمحصله المتوخاة من تجربة افتعالية.

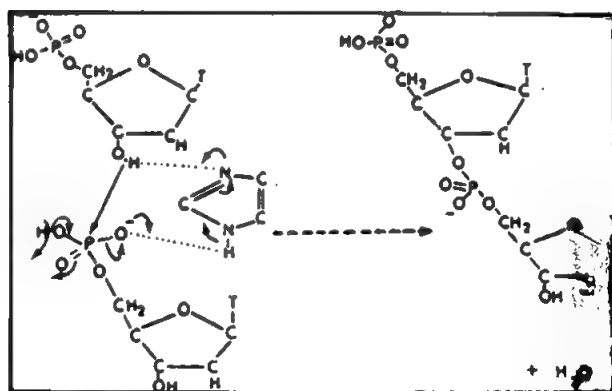
ان حلقة الاليميدازول ، كسلسلة جانبية للهستيدين (histidine) وحدة تحفيزية مهمة في العديد من التفاعلات الانزيمية . وبما ان الحمأة الحامضية تتدر بالبرتنه، أي ضخ البروتونات كخطوة بادئة، فان الانزيمات التي تحفز الطبقات السفلية بهذه الآلية تحتوي على مورد بروتون ومتقبل بروتون في موقعها الفعال . وبنية الاليميدازول المتضمنة ذرتين نيتروجين مشتركين في ذرة هيدروجين مفردة في حلقة خماسية الافراد مع اربطة مزدوجة نقالة تملك القدرة على العمل كمورد وكمقبل للبروتون . والنيتروجينتان في الواقع متعادلتان ، وبنقل الاربطة المزدوجة ، تستطيع الهيدروجينات الارتكاز على هذه النيتروجينية او تلك . والاليميدازول يملك قدرات التحفيز لأنه يتمكن توريد الهيدروجين من نيتروجينية واحدة واعادة التفاف هيدروجينية أخرى بالنيتروجينية الثانية ، وبذلك يعيد توليد البنية الاصلية في العملية.

ويفترض ان عندما يقوم الاليميدازول بتحفيز اقتران جزيئي (d-TMP) يلتقف زوج الالكترونات المكشوف على نيتروجينته المفردة هيدروجينية الهيدروكسيل من الجزء التكويني دي اوكسي ريبوز مطلقا بذلك تفاعل سلسلي من تناقل الالكترونات^(١٠) . يفقد فوسفات (d-TMP) بروتونته



الحامضية (H^+) من جانب وينقطع اوكسجينها اللايوني فيما تتناول هيدروجينة الايميدازول من الجانب الآخر لتشكيل الهيدروكسيل (OH^-) يمثل النبذ المتزامن لبروتونة وايونة الهيدروكسيل فقدان جزيئة من الماء ويرتبط المونومران d-TMP في العملية.

لتعديل تفاعل بونكر-تسئو كنموذج للتكاثف التلقائي للمونونوتيدات، قام جيه ايبانيز (J. Ibanez) وأي.بي كيمبال (A.P. Kimball) وجيه اورو^(١١) باجراء تجربة هذا في درجات حرارة عالية مع d-TMP والايמידازول في الماء. وعند سطم عوامل التفاعل في أنبوبة زجاجية وترخيمها بدرجة حرارة (90°) مئوية لمدة (٢٤) ساعة جاء الناتج بأوليغومرات من اطوال وحدتين الى سبع وحدات مع الترابط الاسهافي الطبيعي ٣، ٥، -ثنائي استر الفوسفات (3'5'-phosphodiester) لكن الحاصل كانت بضع نسب بالمائة في افصاها .

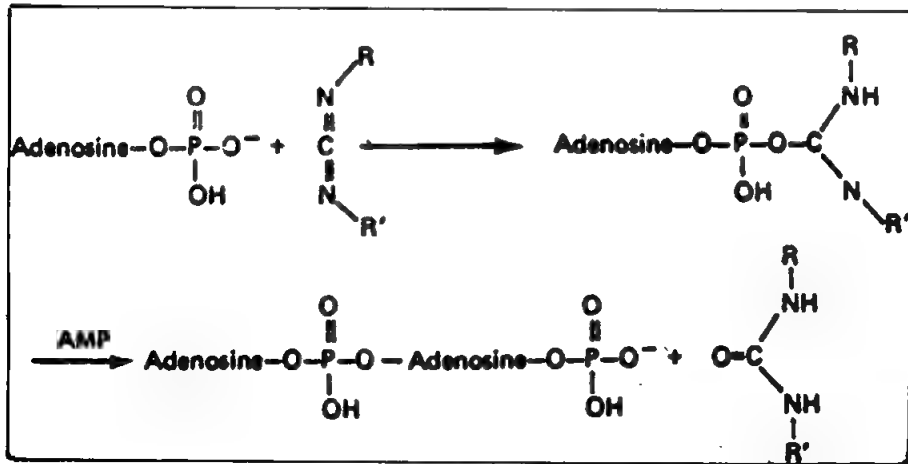


الشكل ٤/٢١ - الآلية المقترحة لبلورة d-TMP بالايמידازول.

ان المشكلة في محاولة بلمرة النووتيدات في الماء هي ان ازالة جزيئة الماء من العوامل المتفاعلة ينافي الفعل الاجمالي من رجحان المذيب . مع ذلك، توجد عوامل تكثيف كيميائية يمكنها استخراج الماء من المركبات في وسط مائي، وقامت جماعة هيوستون بتحري هذه . ان صنف المركب الذي استخدمته جماعة اورجيل في البداية ، أي ثنائي ايميدات الكربون ، لا يزال يستخدم كوسائل في الكيمياء العضوية منذ عقد مضى . تستخدم هذه المواد كعوامل تكثيف مناسبة ، انما بالاصل استخدمت في المذيبات اللامائية نظرا لسرعة جنوحها للتحمؤ، لكن بعد أن اكتشف ان مشتقات الملح من ثنائي الكيل امينو ثنائي ايميد الكربون (dialkylamino carbodiimides)

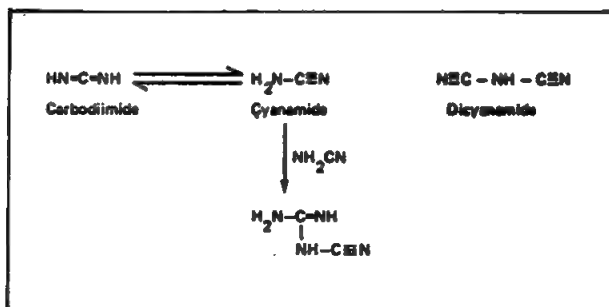
وهي 1-Ethyl-3-(3-dimethylamino-) (propyl)-carbodiimide hydrochloride

وهي قابلة للذوبان في الماء، تتفاعل اسرع مع اللايوانات مما مع جزيئات الماء . وطريقة التفاعل لثنائي ايميدات الكربون في تفاعلات التكثيف هي اولا التفاعل مع اللايون لتشكل شبكة التي آنذاك تتحلما باستخراج الماء من المونومرات . (انظر المعادلة التالية) . والقدر الكبير من الطاقة السائبة المتحررة من تجفيف ثنائي ايميدات الكربون تدفع التفاعل .

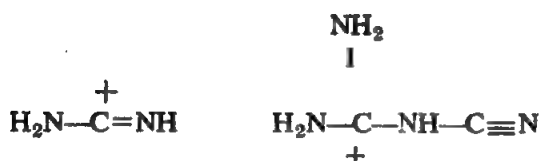


ان ثنائي اميدات الكربون (carbodiimides) كيمائيات مختبرية ولا
 يحتمل ان تكون قد تواجدت على الارض البدائية. اما التوتومر (tautomer)
 من جهة أخرى فهو سياناميد (cyanamide) وهذه مادة كيميائية يعتقد انها
 تواجدت بكثرة على الارض البدائية اثناء تكون لبنات البناء الحياتية .
 (ملاحظة tautomer : مماثل كيميائي يقع متوازنا بين شيئين او ايسومرين
 isomers ويتفاعل بسرعة لتكوين أي منهما) . والسياناميد وثنائية (dimer)
 دايسياندياميد (dicyanadiamide) الذي يتكون في السوائل القاعدية ،
 والدايسياناميد (dicyanamide) وهو مشتق آخر للسيانيد (cyanide)
 هما عاملا تكثيف ابسط من الكربوداي اميدات ولا يستبعد تواجدهما
 ومساهمتهما في تفاعلات التكثف ما قبل الحياتية في الارض البدائية . يتكون
 السياناميد بفعل الاشعاع ما فوق البنفسجي على المحاليل المائية من
 سيانيد الامونيوم . ليس التفاعل عالي الكفاءة لكن وجود الهاليد (halide) يؤدي
 الى تحسين الناتج بآلية ليست مفهومة جيدا . وبالنظر الى احوال التفاعل
 فانه من المعقول أن تكون قد تكونت كميات كبيرة من السياناميد وتوفرت
 في الارض البدائية لتعمل كعامل تكثيف .

dicyandiamide



بما ان النوع الفعال من السياناتاميد والدايسياندياميد (cyanamide, dicyandiamide) هو كاتيون (cation) فان فائديهما كعالمي تكثيف اشد فعالية في محلول حامضي بمستوى (٢) • (أنظر المعادلة التالية) . ربما ليس لمثل هذه المستويات المنخفضة من (٢) اية صلة جيولوجية لكن التفاعل يحصل ايضا على مستويات من (٣) اعلى الا انه ابطأ بكثير . عند استخدام السياناتاميد كعامل مكثف مع الايميدازول كمحفز، امكن تكثيف d-TMP الى اوليغومرات وصل طولها حتى خمس وحدات (١٢)، لكن النتائج من تفاعلات المحلول حتى في درجات حرارة مرتفعة لم تكن مشجعة . كانت الحصائل منخفضة وبدأت احتمالات تمديد تفاعل التكثيف الى أبعد من مجرد بضع وحدات غامضة .



في هذا الاوان اكتشف ان حالة واحدة كانت مؤازرة للبلمرة ، فقد كانت النتائج تأتي أفضل باستمرار كلما تبخر خليط التفاعل حتى الجفاف . وقدم هذا دليلا الى كيفية امكان حصول بلمرة النوتيدات، ليس في البحار البدائية بذاتها انما في احوال التجفف في البحيرات المتبخرة وجفاف الاخوار البحرية، أو حتى في جفاف وتحمص محاليل المتفاعلات المتشطشة على الصخور أو المنسبطات الطينية في حواشي الاحواض البدائية .

قام آي ستيفن شروود (E. Stephen-Sherwood) ودي جي اودوم (D.G. Odom) العاملان مع اورو (١٣) بتمديد تفاعل تكثيف ال TMP

بإضافة بعض ثلاثي الفوسفات اليه . استعمل هؤلاء السيانات كعامل تكثيف مع اضافة AICA كمحفز، وهو أحد مشتقات الايميدازول الوسيط في تمثيل البيورينات من سيانيد الامونيوم . عند تعريض المتفاعلات لاهوال التجفيف وترخيمها بدرجة حرارة (٦٠-٩٠°) مئوية تم الحصول على اوليغومرات بلغت حتى اربع وحدات في الطول . والفائدة من خليط النوتيدات هي ان حصيله الاوليغومرات لم تعد تأتي صغيرة وانما فعلا بحدود (٢٥-٣٠) بالمائة ، أي أكثر من عشرة اضعاف مقاديرها من استخدام المونوفوسفات بمفردها .

مع ذلك، بالرغم من النجاح في تكوين الاربطة ما بين النوتيدات (internucleotide bonds) في احوال مشابهة لتلك التي تتواجد على الارض البدائية، الا أن مدى البلورة بقي ضيقا ضيقا، وأضيّق بكثير مما يمكن معه تصور حصول أي تجمع يؤدي الى تكوين خلية وظيفية . بدا كأننا الطبيعة كانت شديدة الحرص على كتمان سر فعلها العظيم ولم تكن لتدعه يقع الا بعد مشقة بالغة . كيف اذن امكن للبولي نوتيدات ان تبلغ من الكبر ما أعانها على اجتياز عتبة الحجم لتعمل في خلية وظيفية ؟

كانت البحوث على البولي نوتيدات موجهة الى ايجاد الاحوال التي كان من شأنها تنفيق بلورة النوتيدات الى سلاسل طويلة لتعمل كجينات بدائية، انما النتائج حتى تاريخه كانت قد ابانت انه كان بإمكان اوليغونوتيدات بأطوال ست الى ثمان وحدة ان تتكون في الاحوال البدائية ، لكن أحدا لم ينجح في انتاج سلاسل اطول منها بكثير . مع ذلك، فقد نجحت الطبيعة بطريقة ما في خلق بولي نوتيدات ذوات اطوال تكفي لتؤدي في النهاية الى تشغيل آلية التمثيل البروتيني .

هناك الكثير مما يدعو الى الاعتقاد بأن الطرائق الكيميائية التي



استخدمتها المنظومات البيولوجية لم تكن تطورات صدفة ، وانما نشأت من تبني تفاعلات كيميائية عادية . ومغزى هذه النظرة هو ان لما كانت عمليات الحياة قد تطورت من خطوة الى أخرى في مسلسل متواصل ، فربما انه من الممكن تتبع مسلك النشأة لاكتشاف كنه التفاعلات الكيميائية التي عملت كطلائع لنشأة العمليات البيوكيميائية التي تستخدمها المتعضيات الحية .

يبدو ان النووتيدات لم تتبلر من فورها في سلاسل طويلة . لابد انه تواجد جهاز اتاح نمو السلاسل الطويلة بطريقة نظامية . كما ورد البيان سابقا، يبدو ان التكتف ينال عونا عند توجيهه على مرسومة، رغم انه وجد ان هذا لم يكن شرطا في الاحوال المتجففة . الا انه من الممكن تماما ان تكون البولي نووتيدات الطويلة السلاسل الابتدائية قد نشأت على الارض ما قبل الحياتية بنفس المنوال الذي لا تزال المتعضيات تقوم بتمثيلها به اليوم، أي كجزئة مزدوجة الوهن .

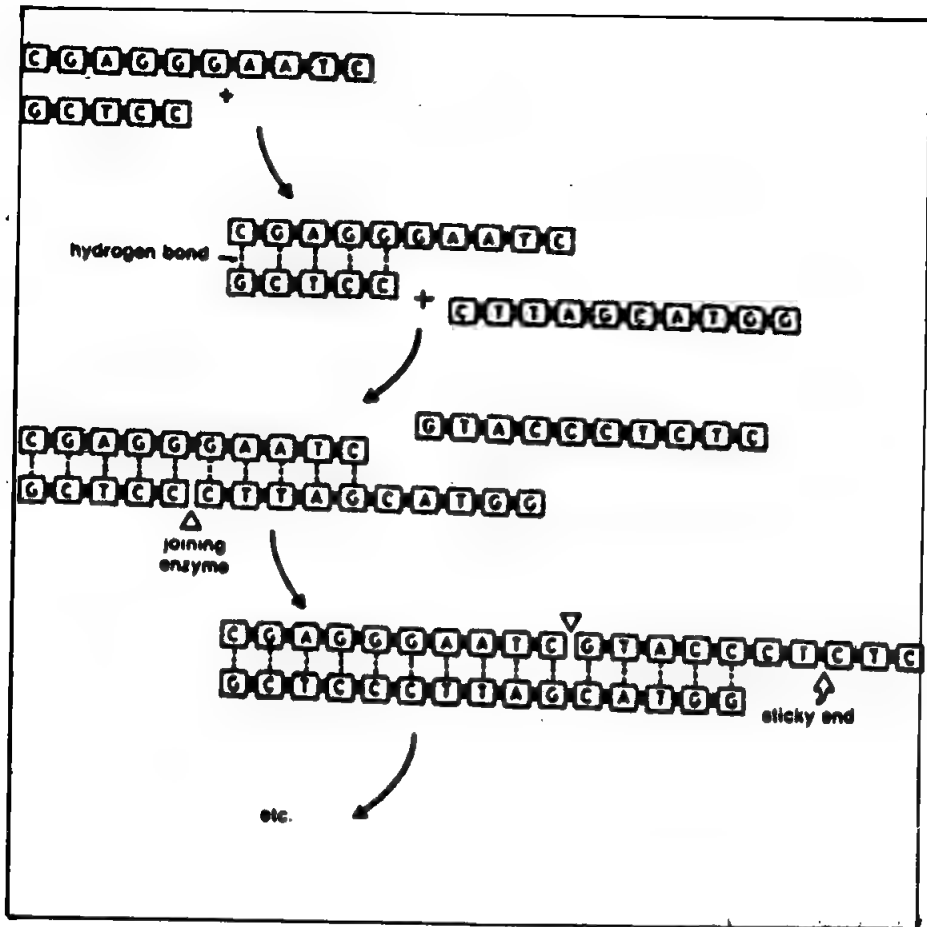
عندما تقوم الخلايا المعاصرة بنسخ الدنا (DNA) تقوم بشرط الجزئية المزدوجة الوهن وتكتيف النووتيدات الموجهة في الاوهان المفردة للدنا لنسخ الدنا من جزيئته المزدوجة الوهن بدون سابق مهده اليه ، وبالاخرى لابد ان الاستنساخ جاء كتسمة استمرارية من الكيمياء ما قبل الحياتية . بعبارة أخرى، ربما ان البولي نووتيدات لم تنشأ كمنتجات تكتف مفرد وانما كجزيئات مزدوجة الوهن .

كانت المسألة المؤدية الى الجينات الاصلية لاول خلية وظيفية مماثلة للمشكلة التي واجهت ايج جي خورانا (H.G. Khorana) وزملاءه^(١٤) في جامعة ويسكونسن ومعهد ماسشوسيتس للتكنولوجيا عند بحثهم عن وسيلة لتمثيل جينة . لم تقم جماعة الباحثين بمحاولة بلمرة جزيئة طويلة مفردة بتكتيف المونومرات الواحد تلو الآخر بهدف تصنيع جينة تدون للرنأ ناقلة تيروسيينية



١ (tyrosine transfer RNA) بل قامت باعداد (٣٩) شظية طول كل منها (١٠-١٥) نووتيدة • تم اختيار الشدف بحيث تمتد قطعة قصيرة لاوليغومر من الآخر عند جعل الشظيتين المتتامتين تكوّنان تشبيكة مزدوجة الوهن • وبعد ذلك عمل هذا القسم الممتد كجيرة يمكن بها تشبيك شظية متصلة للاقتران بدناً الانزيمية ليغاز او وتراز (enzyme DNA ligase) • بهذه الطريقة ، باضافة اولا وهن واحد ثم آخر تمكن الباحثون من تشبيد حامض نوويك مزدوج الوهن كاملاً بطول كلي يبلغ (٢٠٧) نووتيدة •

هذه هي الكيفية المحتملة التي ربما جاءت البولي نووتيدات ما قبل الحياتية بها الى الوجود. تدل نتائج التجارب الافتعالية للاحوال التجفيفية على الارض البدائية ، ولاسيما بوجود مشتقات السياناميد كعوامل تكثيف، على ان اوليغومرات قصيرة تكونت بسرعة من النووتيدات، ولكن لم تتكون اية اوليغومرات طويلة • ومع نشوء تنويع من الاوليغومرات بفعل تكرار غمر قيعان البحيرات البدائية وجفافها يبدو من المعقول ان يكون قد تم لاحتفاظ انتقائيد بالاوليغومرات التي كان بوسعها أن تشكل اقوى التشبيكات (أي تلك التي تضم ازواجا قاعدية متتامة) • ومتى ما تراكبت الشدف المتجاورة فانها كانت قد اتخذت موضع الاقتران بفعل دورة التجفيف التالية •



الشكل ٥/٢١ - مخطط بياني لتمثيل جينة باستخدام بولي نووتيدات التجبير بطريقة خورانا .

الفصل الثاني والعشرون – (جسيمات الحياة)

رأينا في الفصول السابقة الطريقة التي كان عقلاؤنا يمكن للهمسيتيدات والبولي نووتيدات ما قبل البيولوجية ان تتكون بها على الارض البدائية . فان تراكما من هذه المكونات الكيميائية تجمع ليهيء الخطوة الختامية، ألا وهي التثام الخلية . ان حوامض النوويك والبروتينات لوحدها لا تملك صفة الحياة، لأنها هامة أو ستاتية بينما الحياة حركية أو دينامية. فالخلية الحية منظومة عاملة، والانتظام الخاص للجزيئات الضخمة في بنية أكبر تعمل كجهاز ذاتي التحفيز هو الذي يصنع الحياة . وعليه فالوحدة البيولوجية تؤول الى سياق من الاحداث يتم فيها تناول المادة والطاقة لتحويلهما الى مقومات متزايدة التعقيد على التوالي في بنية ذاتية الادامة.

الى هذه المرحلة كانت التجارب المعنية بطرح الامثلة على التصنيع أو التمثيل اللاحياتي للمواد البيولوجية منحصرة في نطاق الاهتمامات الخاصة بالخبراء الكيميائيين. لكن تكون الخلية يرفع نشأة الحياة الى المستوى حيث يكن لكل امرئ أن يشاهدها ككيان ذي خواص المتعضيات المجهرية . فبطريقة ما تمكنت الجزيئات الضخمة التي تكثفت من اللبنات البنائية من الالتئام معا واجتياز العتبة الى الكينونة الحياتية . لقد التحمت في تربية متسقة اتخذت هيئة الخلية الوظيفية . كانت هذه قفزة كمية في الاحداث المفضية الى تكون الحياة، وقد لقيت، بحكم طبيعتها الباهرة، اهتماما خاصا.

جوهرها، جميع المواد تملك خواصا بنيوية تخلق قوى تعاشرية مع مواد أخرى، وتتجمع في تنويع لا حصر لها من التركيبات الاشكالية . لكن تراكمات المواد العضوية لا تلتئم رأسا في خلايا وظيفية ، بل تؤول في العموم الى قرارات لا متميزة . فلتشكل الخلية لابد انه حصل اتقاء للجزيئات لتتراكب معا بكيفية دقيقة وصائبة لتكون الخلية الكلية وظيفية . كانت العقبة



الكؤود ايجاد الطريقة التي سلكتها الطبيعة في جبل المكونات ما قبل البيولوجية في بنية منتظمة تفترت بهيئة الخلية الحية.

كان الاحتواء الضرورة الابرز في تكون الخلية البدائية . فالمنظومة الحية لا تستطيع الوجود في حالة السيولة السائبة، انما فقط في التلاحم الوثيق لمكوناتها . كانت الحاجة تمس الى غلاف يضم المقومات معا وبنفس الوقت يتيح الوصول الى البيئة المحيطة لتناول المواد الخام وفسح المجال للانقسام اثناء عملية التكاثر . في الظاهر، لزم أن يكون هذا سطح يعزل مقادير من السوائل ضئيلة للغاية عن كميات الماء المحيطة به . فما هي المواد التي وجدتها الخلية الاولى متوفرة لها في جيولوجيا الارض البدائية لتستخدمها كدائها الخلوي تبرز به من الجماد الى الحياة؟

بعد جيل من اكتشاف شفان (Schwann) ان الخلية هي الوحدة الاساسية الجوهرية للحياة ، كان الخبراء عاكفين في المختبرات يحاولون خلق خلية حية من المواد الكيميائية العادية . انما كالسيميائيين القدماء وحلمهم في تحويل المعادن العادية الى ذهب، لم يملك اولئك الباحثون الدراية اللازمة بالكيمياء الاساسية المطلوبة ، وبالنتيجة جرى تصميم نماذج بالاصل لنسخ السلوك البدني الخارجي للخلايا بدلا من الوظيفة الكيميائية.

في عام ١٨٦٧ أقام الكيميائي الالماني موريتس تراوبه^(١) (Moritz Traube) تمكن فيها من تكوين رقائق شبه انفاذية انتشارية من فيروساينيد النحاس حول بلورات صغيرة من كبريتات النحاس وضعها في محاليل من فيروساينيد البوتاسيوم . أبدت هذه الكرات الدقيقة التغمدية بعض ملامح النمو واعتقد تراوبه بأنه يمكن استخدامها لدراسة الخواص الكيميائية البدنية للخلايا .



ومر جيل آخر. ثم في عام ١٨٩٢ قام اوتو بوتشلي^(٢) (Otto Bütschli) بأعداد نموذج لخلية حية بذلك قطرة من زيت الزيتون بمحلول البوتاس (potash solvation) • تحركت القطيرة الصغيرة المهيجة كيميائياً حول نفسها على نحو مثير والتهمت جسيمات بأسلوب يشبه الامييا. وقام آخرون بالتوسيع على هذه التجربة وخلقوا نماذج مماثلة قامت بتقليد حركات الخلايا وتمثيل طرائق اقتياتها وانقسامها.

تتوجت هذه الخلايا الكاذبة عند منعطف القرن بالتجارب التي اقامها ستيفان ليدوك^(٤) (Stéphane Le Duc) الاستاذ بكلية الطب في ناتس • أقام ليدوك تجربة مماثلة لتجربة تراوبة وضع قطعة من كلوريد الكالسيوم المصهور في محلول مشبع من البوتاس وفوسفات البوتاسيوم • فتكون قيض كروي من فوسفات الكالسيوم وفيما استمر كلوريد الكالسيوم يتفاعل أدى الضغط الارتشاحي في الباطن الى تمدد الكيس ، وتمكن ليدوك بتغيير التركيزات وازافة مواد مختلفة من توليد اشكال انتضاحية رائعة شديدة الشبه بالطحالب، والفطر، وأشكال حياتية أخرى، وكان البروفسور شغوفاً بتجاربه لدرجة انه اعتقد بأنه اقتحم آفاق علم جديد واطلق عليه اسم البيولوجيا الاصطناعية • (synthetic biology)

تمادى اتباع بيولوجيا ليدوك الاصطناعية في اقامة التجارب وذهبوا في استنتاجاتهم الى ما يتجاوز ادعاءات المؤسس • كان ذلك عصرا لم يكن تفهم النشاط الاشعاعي فيه قد نضج بعد، واستقبل راديوم مدام كوري كأعجوبة العلم لانقاذ العالم من ويلات الامراض • وباستخدام طاقة الراديوم المحيرة قام مارتن كوكوك^(٥) (Martin Cuckuck) بتحويل خليط من الجلاتين والجليسرول والملح الى زرعة من «الخلايا» قيل انها أظهرت جميع ملامح الحياة.



وانقضى جيل آخر قبل امكان ابتكار نموذج واقعي لخلية بدائية .
طوال النصف الاول من هذا القرن ظل الاعتقاد سائدا ان كيمياء الخلايا
تشبه خواص الغروانيات (colloids) ، والغروانية هي حالة خاصة للمادة تكون
الجسيمات فيها منتشرة وعالقة في وسط من طور مختلف، ويمكن أن تكون
جسيمات صلبة او سائلة عالقة بطور صلب او سائل او غازي . والجسيمات
صغيرة بالقياس الى مساحة سطحها الواسعة وتقوم بامتصاص الايونات والمواد
الأخرى تسبغ بها خواص فريدة على المنظومة . تؤدي الشحنات الكهربائية
بباطن المواد أو من الايونات المصوصة بالجسيمات الغروانية الى مناصرة
بعضها البعض والحفاظ على التعلق . ومن المنظومات الغروانية المألوفة هي
الدخان والضباب والرهج وايضا الماء العكر .

وبينما هذه الغروانيات هي في العموم مواد لا عضوية تنقصها الألفة
للماء وتبقى جسيماتها منتشرة بتنافر شحناتها الكهربائية توجد غروانيات
من مركبات عضوية تختلف عن هذه تماما . وهذه هي الغروانيات الاليفة
الماء كالجلائين والالبومين والنشأ التي تبدو انها تذوب في الماء ولكنها
لا ترتشح من خلال الغشاء .

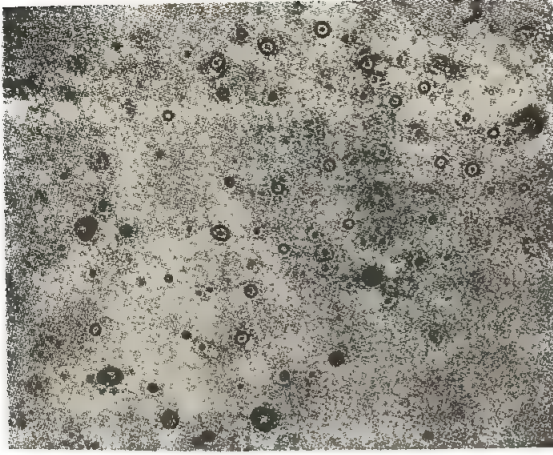
الجزئيات الكبيرة كالبروتينات قابلة للذوبان في الماء لأن ماء التيمه أو
التيمع (hydration) يتجمع بكتل بنيوية حول المجموعات المشحونة والقطبية
مستوعبة جزئيات البروتين في اشكالها المتوحدة بفعل التذاب (solvation)
واذا جرى تغيير الاحوال الى حد كبير بالتسخين مع تبديل مستوى ^٥ أو
القوة الايونية، أو باضافة مواد كيميائية كالليوريا التي تصدع أو تمزق بنية
الماء، تنفض سلسلة الهضمييد منفتحة وتكون لزجة . تتخثر جزئيات
البروتين بالتكتل معا وتصبح غير قابلة للذوبان (نزع الطبيعة : denaturation

يمكن عزل الكولاجن (collagen) ، وهو البروتين الليفي الموجود في الانسجة الرابطة أو الضامة ، وربما أغزر انواع البروتين الحيواني، يمكن عزله كمركب بلوري، ولكنه يتحول الى جلاتين فور نزع طبيعته، فيكون القاعدة الغروانية للاصماغ.

وبما ان بروتينات البلازما كانت خلال العشرينيات من هذا القرن تعتبر بأنها تتواجد بحالة غروانية فقد ساد الاعتقاد آنذاك بأن الجواب على مسألة نشأة الحياة يكمن في الكشف عن الطريقة التي تمكنت البنية الغروانية بها من القيام من الاحوال الجيولوجية . تنامت المعلومات لمثل هذه التجربة من ظاهرة لوحظت للمرة الاولى في عام ١٩٢٧^(٦) وكان هندريك جي بونكنبرغ ديونك (Hendrick G. Bungenberg de Jong) من جامعة لايدن يقوم بدراستها وقدم تقريراً عنها في عام ١٩٣٢.

كان بونكنبرغ ديونك قد لاحظ ان الغروانيات الليفة الماء كثيراً ما كانت تلقائياً تشكل طورين اثنين . انفصل راسب سائل في المواد الغروانية من طبقة فوقية خالية من الغروانية واحتفظ بالتوازن معها، فأطلق على الطور اسم انعقاد الانفصال (separation coacervation) وعلى الجسيمات الغروانية اسم الانعقادات (coacervates) . في بعض الحالات، لم تستقر المادة الغروانية من السائل . انما بقيت معلقة كقطيرات دقيقة في الماء، وبالنتيجة كانت هذه قطيرات من السائل انفصلت من الوسط المحيط بطبقة رقيقة من الغروانيات الليفة للماء.

وجد البيوكيميائي الروسي اوبارين في دراساته لنشأة الحياة وجه تشابه بين الانعقادات والخلايا الحية ، وأورد في الطبعة المنقحة من كتابه والصادرة في عام ١٩٣٦^(٨) مقارنة بين هذه القطيرات الغروانية وبين ناتج



الشكل ١/٢٢ - انعقادات تم اعدادها من الجلاتين والصمغ العربي.

عصر البروتوبلازم من خلايا النبات تبين ان بالرغم من القوام السائل للبروتوبلازم فهو لا يختلط بالماء ويبقى كقطيرات صغيرة عائمة في الوسط المائي.

أعد اوبارين اصنافا مختلفة من الانعقادات وأجرى دراسة لخواصها الفيزيائية والكيميائية . في الاحوال المقننة كانت الانعقادات تتكون بسرعة من البروتينات مختلطة مع بوليمرات طبيعية انتقائية أخرى . وعند خلط محلول من الصمغ العربي، وهو بولي سكاريد تجاري من شجرة الاقاقيا، بمحلول من الجلاتين في مستوى (يد تحت ٨٤) حصل الانعقاد . في مستوى (يد ٨٤) وهي نقطة تعادل الجهد الكهربائي للجلاتين (أي تعادل الايونات والكاتيونات) اصبحت الشحنة في البروتين موجبة بينما بقيت سالبة في الصمغ العربي . التأم البوليمران ذوا الشحنتين المتضادتين وكونا قطيرات من انعقاد شبكية الجلاتين - الصمغ العربي . لقد تمكن اوبارين، باختيار مستويات يد تقع بين نقاط تعادل الجهد الكهربائي للبوليمرات، من تشكيل عدد كبير من الانعقادات ذوات خواص كيميائية مختلفة . كما تسنى ايضا اخذ

انعقادات من الجلاتين وليسيثين البيض (egg lecithin) ، ومن البروتينات القاعدية كالهستون وأحد حوامض النوويك ، وتشكيلات أخرى مماثلة.

أبدى أوبارين انه من الممكن ان تكون ظاهرة الانعقاد هذه قد عملت كآلية بدائية لتكوين الخلية الاولى . ثم ان الانعقادات تملك حدا (boundary) يفصل بين البيئة والوسط المحيط، اضافة الى خواص أخرى تنفرد بها ، كما انها تبدي العديد من الصفات المورفولوجية للمكتنفات الخلوية كالفجوات.

يمكن أن يحصل الانعقاد في محلول مخفف للغاية ، في تركيزات متدنية لا تتجاوز واحد بالالف (٠.٠٠١٪)^(٨)، وتظهر الانعقادات خاصية الغروانيات في قدرتها على امتصاص المواد . كما ظهر ايضا ان الانعقادات المعدة من الصمغ العربي وكبريتات البروتامين (protamine sulfate) تمتص من الوسط المحيط (surrounding medium) حثالة بكتيرية (bacterial lysate) يتم اغناؤها بأنشطة الكاتالاز (catalase) . وبوسع الانعقادات من الصمغ العربي والهستون أو الجلاتين تركيز الغشاء من المحلول بثلاثة اضعاف ونصف (٣.٥) . وعندما تكون البيتا اميلاز (B-Amylase) موجودة تتناولها الانعقادة هي ايضا وتقوم الانزيمية بحلأة النشاء . كما أعلن عن العديد من التجارب الأخرى كانت قد أثبتت ان الانعقادات تعمل كخلايا بدائية^(١٠) . وعلى سبيل المثال، ان اضافة اوكسيدوريداكتاز البكتيري (oxido-reductase) الى خليط انعقاد يتضمن (NADred = ناد مختزل) اسفر عن اختلاق منظومة اكسدة - اختزال لا هوائية بسيطة (simple anaerobic oxidation-reduction system) علل أوبارين انه توأجت على الارض ما قبل البيولوجية مواد بوليمرية قامت بصنع الانعقادات التي كان يمكن أن تعمل بمثابة طلائع للخلايا الحية الاولى . انما في الجوهر جميع التجارب الافتعالية لاطهار خواص



للانفعادات شبيهة بخواص الخلايا كانت تتم باستخدام انفعادات معدة من بوليمرات بيولوجية مناسبة . ومثل هذه التجارب الافتعالية تكون ذات مغزى فقط اذا كانت قد أجريت بمقومات ما قبل بيولوجية مشروعة . فضلا عن هذا، ان الطبيعة الغروانية للانفعادات تجعلها سريعة التأثير بتغيرات مستوى تركيزات الملح . مع ذلك، كانت انفعادات اوبارين ، وبقيت، من الفرضيات العلمية المتقدمة والمعقدة للغاية حول أصل الخلية الاولى .

هناك نماذج أخرى طرحت حول أصل الخلية . في عام ١٩٤٢ قام أي ايل هيرار^(١١) (A.L. Herror) بأعداد ما أسماه بمنافرات الكبريت أو الكبريفوبات (sulphobes) باذابة ثيوسيانات الامونيا في الفورمالديهايد ونشر المحلول في طبقة رقيقة . وبعد مرور بضع ساعات اعلن عن مشاهدة بنى مجهرية تبدي أنشطة مائة لانشطة المتعضيات الحية . ورأى هيرار في هذه الاشكال الدقيقة التنويعات التي تتكون مع الاميا واشكال الانسجة واعتقد أنه ربما كانت ذات أهمية في افتعال أصل الحياة بقوله ان الاحوال في البراكين كانت تؤدي الى انتاج ثيوسيانات الامونيوم بتفاعل معلوم من الكبريت .

لم يكن حتى ما بعد تجربة ميلر في عام ١٩٥٣ ان قام باحثون آخرون بتقديم نماذج من الانتظام الخلوي وما قبل الخلوي . فقد تمكن كارل غرسنباخ (Karl Grossenbacher) وسي أي نايت^(١٢) (C.A. Knight) من عزل ليس حوامض امينية فحسب وانما الهضيميتيدات ايضا اثناء قيامهما بالبحوث على تجربة الشرارة . ثم اثناء قيامهما بفحص الطبقة الصلبة وعينات من السائل الكدر المأخوذة من خليط التفاعل ، اكتشفا اجساما دقيقة صلبة تراوحت بالحجم من حوالي (٠.٠٨-٠.٠٥) ميكرومتر واقل . تضمنت هذه الكريات الدقيقة الواقعة في نطاق حجم الفيروسات ، مقادير كبيرة من الفلزات وحوامض امينية ومركبات مماثلة . لكن الباحثين أبدوا ان الكريات كانت سيليكات

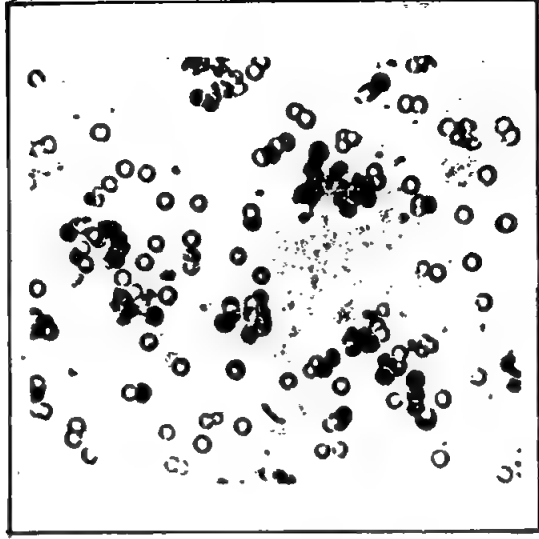
ناشئة عن زجاج البورورسيليكات (borosilcate glass) في جهاز الشرارة
وشككا في ما اذا كانت قد لعبت دورا في التكوين الحيوي (biogenesis)
قامت جماعة من الباحثين في رومانيا بتحري امكانية تكون مركبات
عضوية من جو بدائي في ظروف مختلفة ، وتناول سيميونسكو ودينس
وماكوفو^(١٣) (Simionescu, Dénes, Macoveau) تكون مركبات ما قبل حيائية
بالتفريغ الكهربائي في احوال البلازمة الباردة معدلة ما بين درجة حرارة
(٢٠+ و ٦٠-) مئوية ، ووجدوا ، في تجارب افتعالية لهذه الاحوال أن
خليطا من الميثان والامونيا وبخار الماء أدى الى تكون بنى عضوية متطورة من
مواد بولي هضيميتيدات معقدة شوهدت تحت المجهر متكتفة في المادة اللينة
(fibrillar) في ترتيبية مستديرة او متشعبة.

ان جعل تجربة ميلر الفورمالديهايد والثيوسيانات
(formaldehyde and thiocyanate) مواد ما قبل حيوية معقولة الاحتمال ظاهريا
أضفى سدادية جديدة على بنى الكبريتوب (sulphobe) التي كان هيرارا
قد حصل عليها في تجربته . فقام ادولف سميث (Adolph Smith) من جامعة
سير جورج ويليامز بمونتريال مع جيه جيه سيلفر (J.J. Silver) وغاري
ستاينمان^(١٤) (Gary Steinman) من جامعة بنسلفانيا الحكومية باعادة تحري
ادعاء هيرارا برؤية اشكال شبه حيائية في خليط تفاعله ، واكتشف هؤلاء
الباحثون عند قيامهم بخلط ثيوسيانات الامونيوم والفورمالديهايد ان المحلول
العديم اللون تخضب بالاحمر قليلا خلال ثوان وآل الى اصفر ذهبي في النهاية
بعد انقضاء ساعة واحدة. كشف الفحص المجهرى عن وجود كثافة عالية من
الكرات أو الحمصات تتراوح اقطارها ما بين (١-٥) ميكرومتر طولاً .
وكشفت تجارب اضافية عن ان الضوء ما فوق البنفسجي ينقذ التفاعل ،



وعند اضافة كلوريد الزنك الى خليط التفاعل اندمج الزنك في البنى مضميا عليها نشاطا شبه أت باز محلي (localised ATPase-like activity) كان رأي الكيميائي ان هذه التجارب دلت بوضوح كيف كان يمكن لمواد كيميائية بسيطة يعتقد انها تواجدت على الارض البدائية أن تكون قد شملت أو تدخلت في تكوين بنى مثل الخلايا قبل تواجد اية خلايا حية.

ونموذج آخر للانتظام ما قبل الخلوي الذي قد حظي بترويج كبير هو الكرات المتكونة من البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية التي حصل عليها سيدني فوكس ومعاونوه في تجربتهم • في عام ١٩٥٩ أعلن فوكس وهارادا وجيه كيندريك^(١٥) (J. Kendrick) ان المحاليل الحارة المشبعة من شبه البروتينات الحامضية (acidic proteinoid) اعطت عند تبريدها اعدادا كبيرة من كريات مجهرية متوحدة متسقة • كانت هذه البنى الكرية المسماة بشبه البروتينات الكرية المجهرية (proteinoid microspheres) ذات اقطار تتراوح اطوالها في العموم ما بين (١٥-٣) ميكرومتر وتكونت بسرعة وسهولة من شبه البروتين الحامضي • اما شبه البروتينات القاعدية (basic proteinoids) من جهة أخرى، لم تكون اعتياديا اية كريات مجهرية ما عدا عند خلطها بشبه البروتينات الحامضية • أعطت الكريات المجهرية المحتوية على شبه البروتينات القاعدية لوثة غرام موجبة (positive Gram stain) • اما تلك المعدة من شبه البروتينات الحامضية فانها تقبلت اللوثة ولكنها كانت سالبة، واعتبرت هذه الملاحظة كدلالة على اوجه الشبه في التركيب السطحية في الكريات المجهرية شبه البروتينية والبكتيرية^(١٦).



الشكل ٢/٢٢ - كريات مجهرية تكونت من الحامض الاميني الحامضي *

كما هي الحال مع أغلب هذه النماذج الفيزيائية للخلايا بوسع الكريات أن تلتصق وتنقسم، وبوسع الافراد الاصغر بينها الالتصاق بأترابها الاكبر . وقد أشير الى هذه الظاهرة الاخيرة باعتبارها (تبرعم budding) بناء على تماثلها بالمتعضيات المجهرية الحية . أعلن فوكس وجماعته ان عند ازالة هذه الكريات الاصغر بالصدم الميكانيكي أو الحراري أو الكهربائي وتجميعها بعملية الفرز المركزي (centrifugation) لاحظوا انها تنمو في الحجم عند وضعها في محلول شبه بروتيني مشبع بدرجة حرارة (٣٧°) مئوية (١٧). كما ان اجراء التغييرات في أحوال المحلول حمل هذه الكريات المجهرية على مكابدة تغييرات مورفولوجية مختلفة مفتعلة تناسخ الخلايا . وعلى الاجمال قد تم عزو خمس كفيات تكاثر الى هذه الكريات اللايولوجية .

مثل ليدوك (Le Duc) وكيساته الارتشاحية قبل سبعين عاما خلت، حاول فوكس أن ينسب جميع الظواهر الفيزيائية «الفقاعية» أو الزائلة الى خواص الخلايا الحية . يمكن بوضع ضغط ضئيل على هذه الكريات المجهرية جعلها تتجمع في سلاسل مثل الطحالب^(١٨)، وعندما التّحت هذه الكريات وحصل تبادل للمادة المحتبسة فيها سميت هذه الظاهرة «بالتواصل»^(١٩). أما التفسير الاحداث لعملية الاقتران او «التزاوج» بين هذه الكريات المجهرية فهو «التناسل البدائي»^(٢٠).

انه من الصعب رؤية تواجد اية علاقة تطابق لاشباه البروتينات او كرياتها المجهرية بأصل الحياة . وكما اشار جيه دي برنال (J.D. Bernal) : « تنتج هذه الكريات او الحويصلات عادة بالبلورة الانظامية أو المتفرعة التسلسل، كما في حبيبات النشا، ولا تؤدي بفعالية الى بلور وانما تشكل التثام من كريات جاسئة أو لدنة حول النوى، وأي تشابه بالمتعضيات ، مثل حصول ازدواج كريتين كدلالة على الانقسام ، ربما هو عفوي من باب الصدفة^(٢١) . وبالنتيجة فان بحث فوكس يعكس رجوعا الى الاسلوب القديم للتجارب حول نشأة الحياة والذي كان يستهدف اقامة نماذج تقليدية لاشكال الحياة البدائية .

يقينا ان الكريات المجهرية تمثل دلالة اضافية على ان البلورة الحرارية للحوامض الامينية لا يفضي الى بلورة جانبية تشبه البروتينات الطبيعية . واذا اعتبر المرء اشباه البروتينات الحامضية بكونها اصلا بنى لحامض البولي اسبرتيك يصبح الترابط ما بين الجزيئي يسير التفسير . تملك حوامض الكربوزيليك (carboxylic acids) نزع شديدة لازدواج صيفها الجزيئية بالارتفاق بواسطة مجموعاتها الكربوكسيلية . وبنفس الاسلوب تكون مجموعات حامض الاسبرتيك الجانبية في شبه البروتين اربطة بين جزيئته



مع بعضها في جزيئات متجاورة • وهذا متماش مع حقيقة ان الكريات المجهرية تتفكك في مستوى γ فوق (٦) بسبب تأين مجموعات الكربوكسيل •

بتغيير تركيز الملح يمكن جعل الكريات المجهرية تنتفخ وتكمش، وهي خاصية اقترح انها مماثلة لتلك التي تبديها الخلايا عند تعريضها الى تغيير في الضغط الارثشاحي على غشائها شبه الانفاذي الانتشاري (semi-permeable) (٢٣) •

ولما كان قد ثبت ان الكريات المجهرية شديدة الترشح او الانتضاح ولا يمكن أن تقوم مقام الغشاء (٢٣)، فانه يتعذر عزو الانتفاخ والانكماش الى الضغط الارثشاحي وانما بكل وضوح يتأتى من عمل شبه البروتين بصفة بوليمر مشحون على غرار داويكس ٥٠ (٢٤) (Dowex 50) • ان البوليمرات التي تتضمن مجموعات وظيفية قابلة للتأين، مثل $(-NH-)$ ، $(-C(=O)OH)$ تكمش او تنتفخ في تركيزات ملح مختلفة بسبب التغير الحاصل في عدد الشحنات على البوليمر • فالتركيزات العالية من الملح تسبب الانكماش بالانجذاب الكهروستاتي للبوليمر المشحون الى الايون المضاد • وتستخدم مثل هذه البوليمرات عادة في المختبر كمبادلات ايونية (ion exchangers)



الشكل ٣/٢٢ - جسيمة جيوآنو تبين «التبرعم» •

لقد جرت احالة ما يقرب من اربع وعشرين خاصية للبروتينات الى البوليمرات الحرارية للحوامض الامينية^(٢٥). تعتبر «محدودية اللاتجانسية limited heterogeneity واللاعشوائية (nonrandomness) لتركيب اشباه البروتين كدلالة مؤيدة لامكانية تحقيق بلمرة مشاركة (copolymerization) للحوامض الامينية في سياقات تشبه البروتينات. غير ان هذا مناف للسلوك الفيزيوكيميائي للبروتينات . فالبروتينات والبولي هضيتيدات لا تكون كريات مجهرية . وحتى البروتينات المنزوعة الطبيعة ، كمثل اغلاء بيضة ، لا تتكور في كريات مجهرية، بل تتخر او تتروّب بالطريقة المألوفة.

كما ان جهودا مماثلة لخلق نماذج للخلية البدائية قد اولت اهتماما أكبر للشكلية الاجمالية مما للوظيفية الكيميائية . فقد قام كريشنا بهادور^(٢٦) (Krishna Bahadur) من جامعة الله آباد بالهند في عام ١٩٥٤ باعداد كريات مجهرية بتعريض بارافورمالدهايد والماء واوكسيد الموليبدنوم الفرواني لاشعاع الضوء المرئي . وزعم ان هذه الكريات المجهرية ملكت القدرة على النمو والانقسام والانشطة التايضية. كما قام بهادور باعداد كريات مجهرية بلمرة الحوامض الامينية حراريا واسماها جوانو (Jeewanu) وهي الكلمة السنسكريتية التي تعني «جسيمات الحياة»^(٢٧).

ان التعليل المطروح من اوبارين وفوكس وآخرين لنماذجهم هو ان الخلية الحية كانت قد سبقتها منظومة كانت تملك الخواص المورفولوجية الشبيهة بالخلايا ولكنها لم تكن حية بعد. على ما يظهر ان انعقادات اوبارين اصبحت حيات بدائية اولية^(٢٨) (protobionts) والكريات المجهرية لفوكس خلايا بدائية اولية^(٢٩) (proto cells) . ثم على ما يزعم ان هذه البنى مرت بفترة من التطور تغيرت فيها الى ان نشأت بشكل الخلايا الحية الاولى . لكن كيفما يتأمل المرء هذا لا يسعه الا اعتباره هراء علمياً. فالنشوء الارتقائي هو عملية التطور البيولوجية من خلال التبدل الطفري والتكاثر والانتقاء. وهذه

النماذج الكذب خلوية ، مثل الصلصال ، او فقاعات الصابون ، أو غيرها من
الجماد ، لا تملك الآلية ولا القدرة الكامنة لتصبح غير ما هي ليس الا .

فقدت هذه النماذج للخلايا الحية قيمتها العلمية بالاقلاع عن وظيفة
الغشاء الخلوي للتشديد على التشابهات المورفولوجية الباهرة . كانت فرضية
الانعقادات قد اقيمت في عصر بدت فيه الكيمياء الغروانية بأنها اساس الحياة ،
ونشأت شبه البروتينات من محاولة فاشلة لتمثيل او تصنيع بروتينة لا حيائية
او مادة شبه بروتينية بعملية بسيطة ، لقد حملت كلتا الفرضيتين فوق وسعهما
في محاولة لاشتمال دور المحرك الاولي في أصل الحياة بالرغم من خطوات
التقدم الهائلة التي تحققت في البيولوجيا الجزيئية وكيمياء الغشاء والتي
كشفت ان المبادئ الكيميائية التي تم اشتقاقها منها لم تمت بصلة الى كيمياء
المنظومات البيولوجية .

ان المسألة الراهنة هي ما هي القوى التي تسببت في تجمع والتسام
البوليمرات ما قبل البيولوجية . ان القوة الرئيسة الرابطة في الانعقادات هي
التجاذب الكهروستاتي بين البوليمرات المموية ، وتكون الكريات المجهرية
يتوقف في الاساس على نفس التفاعل . في العموم يجري اعداد الانعقادات
من المركبات البيولوجية ، أما الكريات المجهرية فيتم اعدادها من المركبات
اللايولوجية . وقد اقتضى تبرير وقوع الاولي على الارض ما قبل الحياتية ،
بينما ليست الثانية سوى مواد رطب يستبعد ان تقوم خلية وظيفية حية .

لكن الخطأ الاكثر فداحة في النماذج المبنية على جسيمات متمسكة معا
بقوى ايونية هو انها كانت لتكون على الدوام مهددة بخطر الانحلال .
فالانعقادات شديدة اللاستقرارية ، والكريات المجهرية تتواجد فقط في
محاليل مشبعة ، وتواجدهما في البحار او البحيرات الاركية كان ليكون
قصير العمر للغاية .



الفصل الثالث والعشرون - الغلاف الحيوي

حصل شيء ما في نقطة ما على الارض البدائية ، شيء كان عاديا وتلقائيا في المراحل المتطورة الى منظومة بيولوجية سجلت بداية الحياة . فقد كان من تلك اللحظة فصاعدا ان تحولت بعض الهضيمتيدات والبولي نووتيدات ومواد متنوعة متوافقة من مجرد مواد كيميائية الى مواد بيوكيميائية ملتزمة بكيفية آلت بها الى خلية حية . فماذا كانت طبيعة تلك الخطوة الختامية؟ حتما انها كانت أكثر من تولد جسيمات كروية بشعة لا صلة لها جوهريا بالمنظومات البيولوجية ، ولا بد بالاحرى انها كانت عملية ادخلت خاصية جوهرية في تنظيم المادة تتميز بها الخلية الحية . ذلك الحدث الخطير الذي اصبح اللحظة التي بدأت فيها الحياة كان اعتماد تجمع من الجزيئات الذاتية الانتساخ في غشاء خلوي شبه انفاذي انتشاري .

أصبحت الخلية الحية تفاعلا خاصا من المادة وسيطا بين مواد مرتبطة ارتباطا وثيقا بأربطة وجزيئات متساوية التكافؤ في محلول سائب . وليتم الافصح عن بنية البولي نووتيدات من خلال التناسخ والترجمة تحتم عليها وعلى مقوماتها الانجاس في تجاور وثيق ومع ذلك بدرجة من الحرية يتسنى لها معها التحرك والتفاعل . ولهذا الغرض مست حاجة الخلية الى غمد كانف يملك جميع الخواص الفيزيائية لفصل الخلية عن البيئة المحيطة مع اتاحة المجال لها لتناول المواد الاولية والطاقة ، وبهذه الطريقة تمكنت الخلية من ادامة احتياطي من الطاقة بالنسبة الى المحيط ليدفع آليتها الخلوية .

اقتضى أن يكون الغلاف الحاوي منيع النفاذ للمكونات الخلوية انما يملك القدرة على اتاحة تسرب جزيئات دقيقة ، واقتضى ان يكون مرنا مطاوعا للاتساع والانقسام انما يتماسك ببعضه تلقائيا ، واقتضى أن يكون



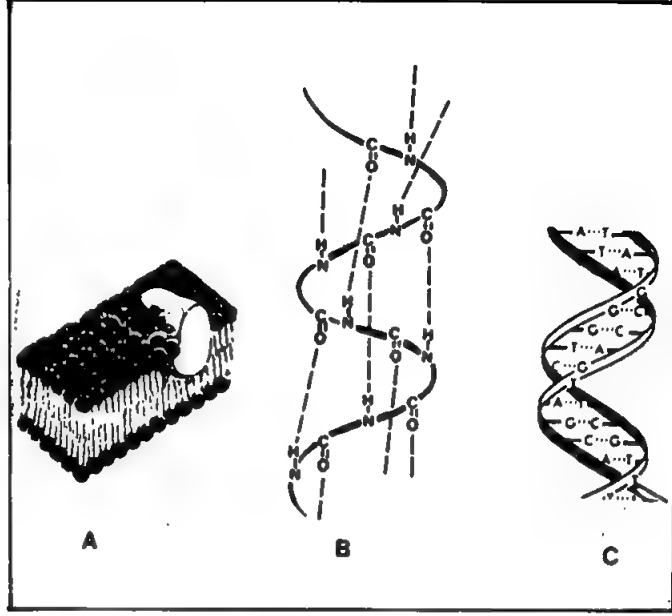
مقاوما للذوبان في المحاليل المذوقة وعلى نطاق واسع من مستويات ^{١٥} واقتضى ان يكون متركبا من مواد كيميائية بسيطة تستطم معا ذاتيا في باطن شكلية الغلاف الثنائية البعد شبه السائلة • وتوفرت كل هذه الشروط في الغشاء الدهني الثنائي الجزئي ••

ان الغشاء الثنائي الطبقة الدهني مثال للبساطة يتكون تلقائيا ويؤلف السمة البنيوية العامة الجامعة لجميع الكائنات الحية قاطبة ، وهو موجود لدى كل خلية ، بما فيها اصغر المتعضيات المجهرية الطليقة العيش • هذه الطبقة الثنائية الدهنية جوهرية الضرورة لدرجة انها تأتي في مصاف لولب ألفا للبروتينات واللولب المزدوج للذئ (DNA) في تمثيل البنى الاساسية الثلاث للمنظومات البيولوجية • وأهمية الغشاء الدهني واضحة من الحقيقة أنه كلما تزايدت المتعضيات في التعقيد كلما ازداد اتساع عدد البنى الخلوية المحتوية على الاغشية •

تباين تركيبة الدهنيات في أغشية الخلايا المعاصرة الى حد كبير ، انما في العموم يتألف الغشاء بالتقريب من نصف بروتين ونصف دهني مع كون الدهنيات في الاغلب فوسفودهنيات • وهذه المركبات الاخيرة تمثل مسلسلة من المشتقات الحامضية الدهنية من حامض الغليسروفوسفوريك التي تتباين بالمكون الجزيئي الصغير المرتبط بمجموعة الفوسفات •

بما ان الماء ينافر السلسلة الهيدروكربونية للبدائل الحامضية الدهنية ، بينما النهاية الفوسفاتية للجزيئة قطبية وقابلة الذوبان في الماء ، تأتي الدهنيات في فئة من الكيمائيات تتراصف بين طورين فيزيائيين • ففي الماء تندفع الفوسفودهنيات الى بعضها البعض معا بحجب سلاسل البرافين من الماء في تجمعات كصفائح من الجزيئات مع النهايات القطبية ممتدة في الماء • كطبقة



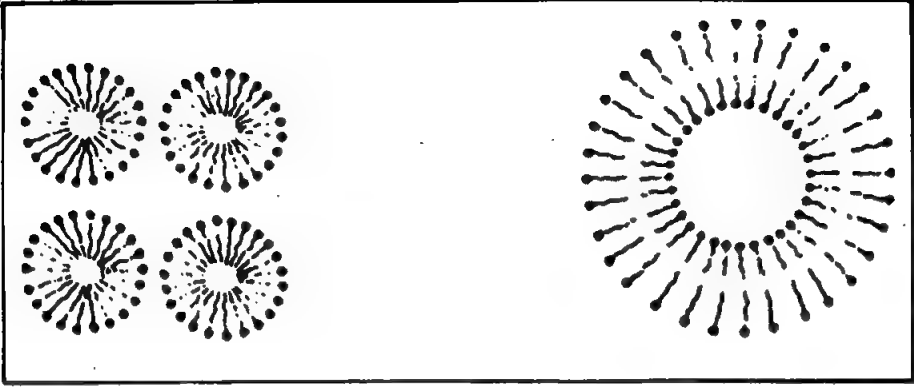


الشكل ١/٢٣ - الوحدات البنوية الأساسية للمنظومات البيولوجية .

١ - الغشاء الثنائي الطبقة الدهني . ب - الليفيّة اللولبية
لبروتينات. ج - ألولب المزدوج للحوامض النووية.

سطحية يتألف التجمع من طبقة أحادية الجزيئات في الفاصل بيني بين الهواء الماء مع السلاسل الهيدروكربونية موجهة الى الخارج بعيدا عن الماء . غيرانه تحت السطح ومحاطة بالماء تشكل الفوسفودهنيات اشكالا كروية مع سلاسل الهيدروكربون مندمجة بعضها ببعض . فاذا دمجت طبقة مفردة من جزيئات الفوسفودهنيات سلاسلها الهيدروكربونية لتشكل كرة ، ينجم عن هذا ما يسمى بالمذيلة (Micelle) ، انما اذا خلقت طبقة ثنائية الجزيئات تحويطة او مكتنفا كرويا enclosure فالنتاج يكون دهنوسومة (liposome) ، أو حويصلة أو بويصلة (vesicle) اذا كانت الاشارة الى مكونات بيولوجية . والحويصلة هي التي تمثل السمة الخلوية الشائعة الكلية لجميع الحياة على الارض .





الشكل ٢/٢٣ - المزيلات والدهنوسومة (حويصلة) •

تخلق الدهنوسومة المتكونة من الصفيحة الشائبة الطبقة المغلفة حالة الخلية الحية حيث يمكن ادامة البيئة الباطنية في تركيبة كيميائية وكمين من الطاقة مختلفين عن الوسط المحيط، ولا تستطيع الآلية التكاثرية والتأيسية للخلية الاشتغال ما لم تكن المواد المنخفضة الوزن الجزيئي، والتي تمثل الطبقات السفلية والطلائع للتمثيل الحيوي، محفوظة بضمن غشاء. وهذه الاغشية المزدوجة الدهنية مع نهاياتها المائية الجنوح موجهة الى الخارج هي حواجز مستقرة ضميا لمنع فقدان مقومات خلوية ثمينة وللحفاظ على مدرج التركيز الجوهري الضرورة للمنظومة البيولوجية •

يتحتم على الغشاء أن يعزل الخلية عن بيئتها، ولكن ليس كليا ، اذ انه يلزم توفر المجال لدخول الاغذية الى الخلية ولطرد الفضلات التلف التأيسية. والغشاء الخلوي في العموم نضوح للماء والمواد القابلة الذوبان في الدهنيات، ولكنه يدخل فقط المركبات العضوية القابلة للذوبان والتي تحتوي على لا أكثر من ثلاث الى خمس ذرات كاربون، يعتمد اختراق الايونات على عددا لشحنات



الكهربائية للأيون الواحد، ويبدو ان النوع المتعدد التكافؤ كأيونات الكالسيوم والكبريتات شديد البطء في اختراق الخلايا • كما يوجد حاجز مانع للشحنة الموجبة، والانيونات الصغيرة كالكلوريد والبيكاربونات تخترق غشاء خلايا الدم الحمراء أسرع بحوالي مليون مرة من الكاتيونات من ذات الحجم • وهذه الانتقائية للشحنة الايونية ، وهي خاصية مميزة للغشاء الخلوي، تظهر ايضا في دهوسومات الفوسفودهنيات بعدة اضعاف حجمية^(١) •

يتضمن الجزء البروتيني في الاغشية الخلوية المعاصرة انزيمات وجزيئات نوعية أخرى تقوم بتأدية وظائف للمتعضيات المعاصرة كانت لتكون متقدمة فوق العادة للغشاء الغامد البسيط لدى الخلايا البدائية • غير انه توجد بعض العمليات كانت نظرا لصفاتها الجوهرية لتكون مشتركة لدى الخلايا البدائية وسلالتها الاكثر تقدما وتطورا على حد سواء • بالاصل كانت الجميع يقتضي بها ان تستجلب الى الخلية من خلال الحاجز الدهني مواد الاقليات من خارج الوسط لتغذية نموها •

ان العديد من المواد ذوات الاهمية كالكسكاكر ، والحوامض الامينية والنووتيدات ليست قابلة للذوبان في الدهنية وتتجاوز حدود حجم النفاذ، ولكنها مع ذلك تخترق الاغشية الخلوية بسهولة ، ويعتقد ان الخلايا المعاصرة تملك آلية نقل خاصة لأخذ هذه المواد الجوهرية عبر الحاجز الدهني • ولما كان جهاز النقل النشط هذا يبدو مشيدا من بروتينات خاصة في الغشاء فانه نظرا لشدة تطوره ما كان ليكون متوفرا لدى الخلايا البدائية • اذن كيف كان ليتسنى للمكونات الحيوية ان تعبر طبقة الدهنية لامداد الخلية البدائية بالغذاء من الوسط الخارجي؟

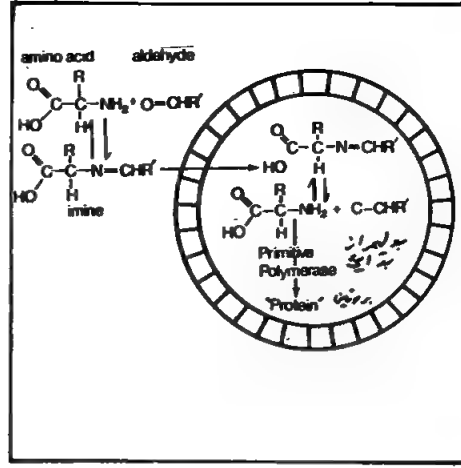
لابد انه تواجدت آلية بسيطة من نوع ما توفرت للحويصلة الدهنية



وتمكنت الخلية بها من مراكمة جزيئات صغيرة قابلة للذوبان بالماء. اقترح ويليام ستيلويل^(٢) (William Stillwell) آلية كان يمكن ان تعمل كجهاز نقل بدائي لانتفاذ الحوامض الامينية، والسكري، والنوتيدات، عبر الغشاء الدهني للخلايا الاولى. عندما تتكشف الحوامض الامينية مع الالديهايدات البسيطة القابلة للذوبان بالماء تتمكن اليمينات (imines) الناجمة عنها من الانتفاذ من خلال الحاجز الدهني. وما ان يصبح في باطن الخلية يؤدي تفكك اليمين (imine) الى تحرير الحامض الاميني فيحتفظ الغشاء به، بينما يعبر الالديهايد، القادر على الانتشار عبر الغشاء، الى خارج الخلية مرة اخرى. وعلى نفس الفرار كان بإمكان السكر أن تنتفذ من خلال الغشاء مكثفة مع الامينات^(٣) (amines)، وكان بإمكان النوتيدات أن تخترق الى باطن الحويصلة الدهنية كشبائك الايون المعدني الاحادي والثنائي التكافؤ^(٤). ويعتبر هذا الصنف من الانتفاذ الانتشاري (diffusion) منجزا بالواسطة الحاملة (carrier mediated) ولما كان لا يستلزم بروتينات نقل معقدة، فمن الممكن انه كان جهاز نقل ذا أهمية لدى الخلايا البدائية.

يملك الغشاء الثنائي الطبقة الدهني خاصية اضافية فريدة للخلية الناشئة ولا يسعها الاستغناء عنها. فهو يضفي على الخلية قدرتها على عزل الشحنة الكهربائية. جميع أغشية الخلايا الحية تبدي اختلافا في الجهد الكهربائي الكامن (electrical potential) في جانبي الغشاء. فانه ليسنى امتصاص فوتونات ضوء الشمس وترحيل الطاقة بجهاز نقل الالكترون لتمثيل الأتپ ATP، فانه يلزم أن تكون سلسلة حاملات الالكترون معزولة لتفادي التقصير الدائري (short circuiting). والغشاء الدهني لوحده فقط يمتلك السمات الرقيقة العازلة اللازمة للعمل كمكثف معزول (capacitor) بيوكيميائي.





الشكل ٢/٢٣ - رسم بياني يوضح المآخذ الأليدهايدى الواسطة للحوامض
الامينية الى باطن الحويصلة الدهنية.

يبدو ان الحويصلة الدهنية هي النموذج الوحيد لغشاء الخلية البدائية الذي يقوم بأداء جميع المتطلبات البيولوجية . اما الانعقادات، والكريات المجهرية شبه البروتينية ، وجسيمات جيانوف، والكريات اللاعضوية، كلها لا تملك جميع الخواص الحيوية التي يملكها الغشاء الثنائي الطبقة الدهني . فهي اكثر نقوحا من ان تستطيع حفظ المواد الصغيرة الاوزان الجزيئية ، وأسمك وأكثر موصولية من ان تعمل كعازلات، وجميعها تعجز عن مطابقة شروط مبدأ الاستمرارية ، وهذا هو التعميم الذي يستوجب على كل مرحلة من التطور ان تأتي كتسمة متصلة للمرحلة التي سبقتها . وقد بذلت جهود لدمج الخواص الجوهرية للغشاء الدهني في الانعقادات والكريات المجهرية لكن الهدف يتعرض للارتباب . فلا الانعقادات ولا اشباه البروتينات تملك أي دور في المنظومات البيولوجية ، ولا يوجد أي دليل على ان ايا منها كان يملك هذه الخاصية قط . من جهة أخرى، يبدو ان الغشاء الثنائي الطبقة الدهني كان الغلاف الحيوي منذ بداية الحياة .

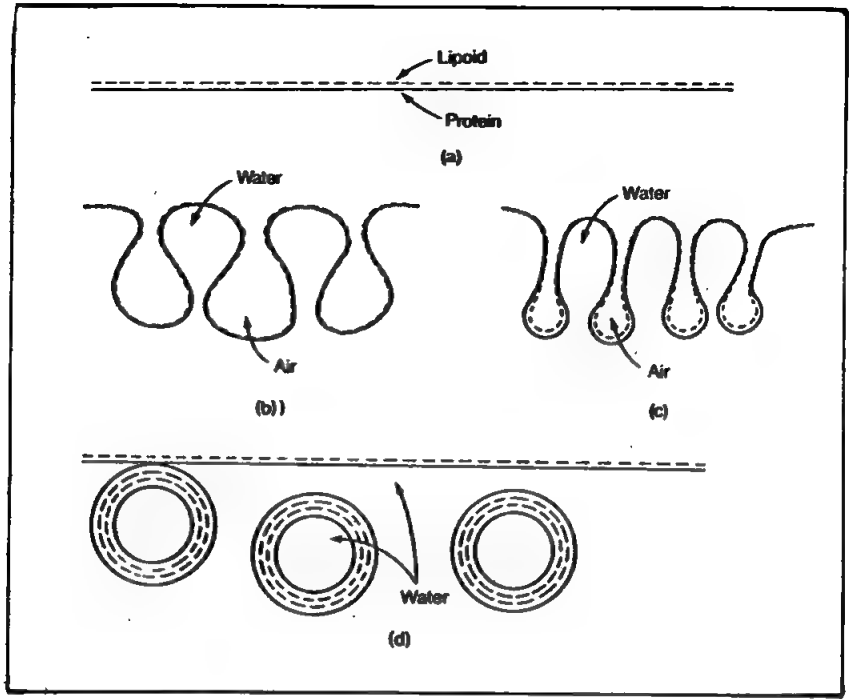


كان اختلاف المنظومة البيولوجية نتيجة تجارب المواد الطبيعية للتفاعلات التلقائية ، وقد وجد ان لبنات البناء كانت بنى معززة بالطاقة تتجت عن التفاعل بين الطاقة الشديدة والمادة ، وبلغتها تتبع تفاعلات كيميائية معينة في أحوال ارضية عادية . فالنووتيدات تشكل ازواجا من خلال الترابط الهيدروجيني للتاسخ، وتلف البولي هضميتيدات نفسها في لفيفة لولبية ، وهكذا ايضا تتجمع الدهون تلقائيا في بيئة مائية لتشكيل اساس الغشاء الخلوي .

تتضح تلقائية الدهون لتكوين البنى من اسقاط قطرة من الزيت في الماء . وحتى قدر دقيق من الزيت سينتشر تلقائيا في صفائح من الجزيئات المتراصة ويشكل طبقة رقيقة . والطبقات السطحية هي طبقات احادية الجزيئة تتكون في الفاصل البيني للماء والهواء، بينما في حجم مائي بدون فاصل بيني تقوم الدهون بما مؤداه خلق فاصلها البيني الذاتي بابقاء نهاياتها القطبية متجهة نحو الماء بينما توجه ارفالها اللاقطبية للتجمع معا . فاذا تكونت كرة تضم ماء تكون النتيجة تحويطة غشائية ثنائية الطبقة ، أي حويصلة .

هذه سمة عادية للطبيعة كان أول من أبان اهميتها لأصل الحياة ريج كولدريك^(٥) (Reg Goldacre) من معهد بحوث چستر بيتي بلندن . في عام ١٩٥٨ نشر كولدريك ورقة حول الرقائق او الطبقات السطحية (surface films) كان قد لاحظ شيوعها في جميع البحيرات والانهر والجداول . توجد رقيقة (film) مرنة على أسطح جميع التجمعات المائية قلما تبدو للعيان الا اذا كانت مفعمة بالغبار أو جرى فحصها بعناية ، وهذه تبدو جزءا من البيئة الطبيعية ، تأكلها الدعاميص ، وتزحف البزاقات منقلبة على سطحها السفلي، ويمكن رؤية مفصليات صغيرة مستندة عليها اثناء تنظنها على السطح . وهذه رقيقة جزيئية ليس من الزيت وانما ربما من الدهنوبروتينات (lipoproteins) واوراق النبات واللحاح أو الطلع وغيرها من المواد المتساقطة في الماء .



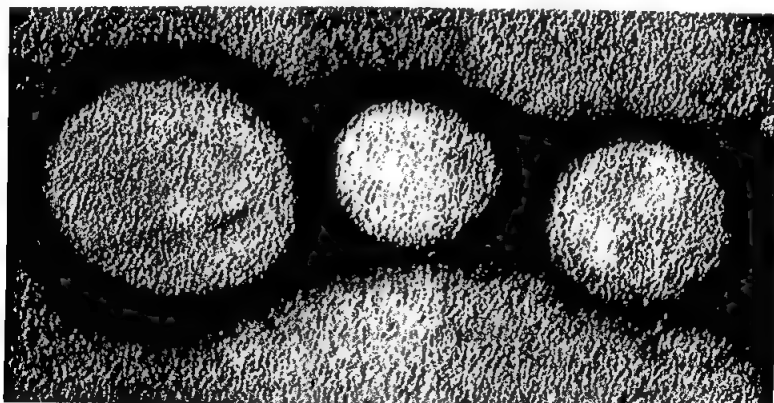


الشكل ٤/٢٣ - نموذج مقترح لتكون الحويصلات الثنائية الطور على الرقائق السطحية بفعل الموج.

عند قبض او كبس الرقيقة بتضييق المساحة السطحية ، كما يحصل عند تحول المجرى فجأة من الضحل الى العميق، أو عند جريان الماء تحت حاجز عائم، أو حتى بالضغط السطحي الناجم عن فعل الريح، تنغضن الرقيقة في مسلسل من الطيات، وحيث ينطوي السطح المنافر للماء خلقيا على نفسه تتلاصق الرقيقة المتعوجة وتحتبس الهواء والماء في عثرى أو انشوطات متناوبة. ثم فيما يتسرب الهواء ويتبدد بالتدرج تنهار الفقاعات وتربط معا اقساماً

متجاورة من الرق لتشكل غشاء دهنوبروتينياً مزدوجاً ينبتر عن رق السطح في اسطوانات صغيرة تتدحرج طليقة في الماء، وسرعان ما تفضي هذه البنى المستطيلة عن نشوء جسيمات كروية شبه الخلية تتألف الواحدة منها من غشاء ثنائي الطبقة دهني يضم بباطنه بيئة مائية • ووجد كولدكر ان الرقائق الدهنوبروتينية المتمزقة ، التوتر السطحي، والزوجة ، والتقلص - التمدد الارتشاحي، تشبه بشدة خواص الاغشية البيولوجية.

تتألف الدهنوبروتينات المكونة للرقائق السطحية من مشبوكات تقع ما بين البروتينات والدهنيات وهذه تتألف بشكل رئيسي من الفوسفودهنيات. ان سلسلة البرافين المنافر للماء في مركبات الحوامض الدهنية من الفوسفودهنيات، باحتجابها عن الماء، هي التي تقوم بتوجيه الجزيئات الدهنية في الطبقة الاحادية الجزيئة في الفاصل البيني بين الهواء والماء. ويعتقد في العموم ان الاربطة بين البروتين والفوسفودهنيات تتألف في الاغلب من الايونات وتقع عند الفاصل البيني رغم انه بوسم المجموعات الجانبية



الشكل ٢٣/٥ - الحويصلات الناتجة في مستخرج من تجربة افترعت التمثيل ما قبل الحيوي للدهنيات.



المنافرة للماء في البروتين ان تتفاعل مع الطبقة الدهنية . وعندما تنشأ طبقة ثنائية من تمزق الرقيقة تندمج السلاسل المنافرة للماء لطبقتي الدهنيات وتصبح الوحدة المقطعة حويصلة ذات بروتينات ملتصقة بكلا جانبي الغشاء .
ان الرقيقة السطحية من اصل بيولوجي، فهل كان نظيرها قد تواجد على الارض ما قبل البيولوجية؟

يبدو محتملا انها كانت تكون سمة شائعة آنذاك، مثلما هي الآن . ان الفوسفودهنيات مركبات تنشأ من تكثف الحوامض الدهنية ، والجليسرول ، وحمض الفوسفوريك ومكوّن صغير اضافي . وكان قد اعلن ان السياناتاميد، وهو عامل التكثيف الداخل في التكوين اللاحيوي للبولي نووتيدات والبولي هضيتيدات ، ايضا يحفز فسفرة الجليسرول في المحاليل الحامضية . وقد وجد ويل هارغريفز (Will Hargreaves) وشين ملفهيل (Shean Mulvhill) وديف ديمر^(٦) (Dave Deamer) من جامعة كاليفورنيا في ديفيس ، في التجارب المقامة لدراسة التمثيل اللاحياتي للفوسفودهنيات على الارض البدائية أن الحوامض الدهنية والالديهيات الدهنية تتفاعل مع الجليسرول عند تجفيف الخلائط معا وترخيمها بدرجة حرارة (٦٥°) مئوية لمدة اسبوع واحد . في تجارب أقيمت لافتيال البرك الناجمة عن الفيضانات المديدة قام هؤلاء باعداد محاليل مخففة تحتوي على الجليسرول والفوسفات والسياناتاميد واطافوا مشتقات هيدروكاربونية مختلفة للرقيقة السطحية . وعند تبخير الخلائط حتى الجفاف وشي او تحميم الشالة بدرجة حرارة (٦٥°) مئوية على الرمل او الصلصال تمكنوا من اكتشاف فوسفودهنيات مماثلة للحمض شبه الفوسفوتيكي وجليسروفوسفات الفوسفاتيديل في المواد الناتجة عن تلك العملية ، مع بعض الدهنيات المحايدة المتخلفة . اضافة الى ذلك عند صب الماء في هذه المتوجات وخض الخليط تكون بسرعة معلق (suspension) لا متجانس من الحويصلات



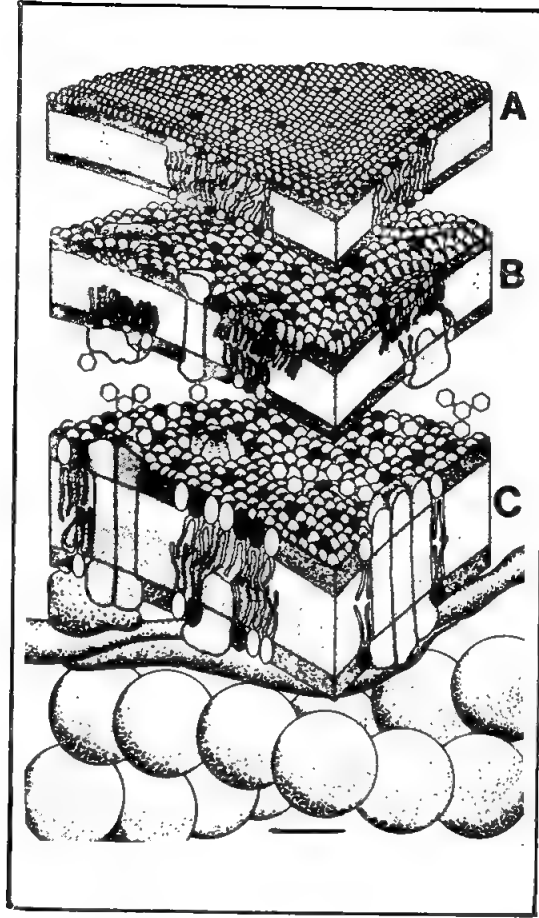
مع الغشاء الثنائي الطبقة الدهني • علقت اهمية خاصة على غليسرول الفوسفاتيديل نظرا لأن هذه الدهنية ومشتقاتها الامينواسيلية (aminoacyl derivatives) بارزة التواجد في أغشية البروكاريوت •

وفيما واصل هارغريفز وديمير دراستهما وجدا أن النزعة الى تشكيل بنى شبيهة بالخلية لم تنشأ من الدهنيات الاكثر بساطة من الفوسفودهنيات وانما ايضا تلقائيا بدون فعل الموج أو أي شكل آخر من الاضطراب • كونت الجزئيات المشحونة المفردة السلسلة حويصلات دهنية مستقلة وحتى احاديات الاسيل غليسرول (monoacylglycerols) التآمت في دهنوسومات عند تفرقها في الماء • زيادة على ذلك كونت الحوامض الدهنية ذوات (٨ الى ١٦) ذرة كربونية حويصلات دهنية عند جعل الاحوال قلوية قليلا •

كانت المعالم الحرجة (critical parameters) لتكون الحويصلات مستوى ودرجة الحرارة وطول السلسلة الهيدروكربونية • وبدا ان الحد الأدنى لطول السلسلة التي يمكن للأغشية أن تتكون منها في تفرقات نقية كان ثمانية (٨) كربونات لكل من الحوامض الدهنية وأحاديات الاسيل غليسرين، وكان مدى درجة الحرارة المطلوب ما بين (٢٠-٥٥°) مئوية ومستويات γ ما بين (٧ الى ٩)، وهذه أحوال تتواجد في معظم البيئات الأرضية •

على ما يظهر كانت الغليسرودهنيات البسيطة اكثر انتشارا من الفوسفودهنيات على الارض البدائية ، وكان بوسع الرمل أو الصلصال في المسطحات الطينية أو المستجمعات المائية الجافة توفير الظروف الملائمة لتفاعلات التكثف - الجفاف التآمت فيها الجزئيات المحبة والمنافرة للماء لتشكيل الغليسرودهنيات • وزيادة على المحفزات السطحية كالسيليكا والصلصال ربما ان عوامل التكثيف الكيميائية من سياناميد وثنائي السياناميد ساعدت في التمثيل ما قبل الحيوي لهذه المركبات الغشاء انمائية •





الشكل ٦/٢٣ - خطوات افتراضية في نشأة الغشاء الحيوي. يمثل الخط الأفقي (٥٠) نانومتراً. أ - الغشاء الثنائي الطبقة البسيط. يتضمن دهنيات مفردة السلسلة مع هيدروكربونات C_8-C_{12}
 ب - غشاء يتضمن كلا من دهنيات أحادي وثنائي الكيل (mono-and dialkyl lipids) ($C_{10}-C_{16}$) مع بولي هضميتيدات ملتصبة ومحتشرة
 بينيا . ج - غشاء متقدم من دهنيات ثنائي الكيل ($C_{16}-C_{18}$) يتضمن بروتينات وهيدروكربونات ، ومتعاشر مع أجهزة بروتين محيطية.

لاختبار سلوك الدهنيات في الاحوال الافتعالية قام ديمر وغيل برجفيلد^(٨) (Gail Burchfield) بترك دهنوسومات الفوسفو دهنيات تتعرض الجفاف- التميؤ (dehydration-hydration) في حضور ٦-كاربوكسي فلوريسين (6-carboxyfluorescein) و DNA الحوية المنوية لحوت سليمان (Salmon) على التوالي. اثناء فترة التميؤ التامت الدهنوسومات بالبنى المتعددة الرقائق أو الرهائف (multilamellar) مع الصبغة (dye) أو الدنا DNA محتبسة بين الطبقات . وعند اعادة تميؤ المنظومة انتفخت الرهائف وشكلت بنى حويصلية كبيرة تتضمن مواد الاختبار. واتضح من ذلك أن اعتماد الجزيئات ما قبل الحياتية كان سمة عادية للدورة.

انما يبدو انه كان هناك شيء أكثر في سلوك الدهنوسومات من الاحتواء ساعد الخلية في مسيرتها. ان عملية التمثيل الحيوي وثيقة الصلة بالبنية، فان كيفية وضع الانواع الجزيئية للتفاعل ذات أهمية في تمييز الاليات الخلوية من المحاليل المكشوفة. عند اضافة حامضي (d-TMP و d-AMP) و مرسومة من الدنا DNA (بوليمر جانبي مساعد بولي dAdT alternating copolymer) ووضعها في عملية «بركة المد = tide pool» حيث تجففت المكونات في احوال لاهوائية لفترة بضع ساعات بدرجة حرارة (٦٠-٩٠°) ماثية، حصل شيء رهيب . اندمج قدر صغير من المونومر d-AMP او d-TMP في الجزيئة البوليمرية^(٩).

كانت الحصيصة ضئيلة بالمقاييس المختبرية (١٠٠ بالمائة بالدورة) ولكن هائلة الاهمية في مغزاها. كانت الدهنية (lipid) ودرجة الحرارة جوهريتين للتفاعل. وحده ديمر ان البلمرة الدهنية الاعتماد لمونو. سرات النووتيد الى جزيئات أكبر ربما تحصل لأن توجه المونومرات في الحيز الثنائي البعد الممهد

بطبقات الدهنية اثناء دورة الجفاف يراصفها لتشكيل رابط ثنائي ايستر الفوسفات (phosphodiester) •

ويعتقد ديمر وهارغريفز ان الاغشية الابتدائية في الارض البدائية كانت اما جزئيا او غالبا دهنية • وحتى قلما تصبح عملية التمثيل الحيوي (biosynthesis) حقيقة واقعة ، كان يمكن ان تتواجد قوى انتقائية فضلت الاستقرار التي ركزت الفوسفودهنات المتوفرة في خلايا معينة. وكانت التفاعلات الايونية والماء تنافرية بين دهنيات وهضميدات الغشاء لتتيح للاخيرة لتحشر في بنية الغشاء، وربما حققت فيها انفاذية انتشارية انتقائية • وفي الاخير كان تمثيل البروتينات ليؤدي الى نشأة بروتينات مندمجة في الغشاء لوظائف نوعية كإنزيمات او كموامل لنقل المواد الى ومن الخلية.

كانت جميع القوى الطبيعية متواجدة في البيئة البدائية لتوفير مستلزمات الالتئام الذاتي للخلايا البدائية، لقد تواصلت النشأة ممتدة من المواد الجمادية وحتى الجزيئات الضخمة والبنى الخلوية الى الخلايا الاولى في عمليات تفاعل تلقائية تسلسلية • وعند تأمل عدد الوقائع الممكنة نجد لا بد أن مسلسل التفاعلات امتد تكرارا الى انواع خلوية تمكنت من اجتياز العتبة الى النشأة البيولوجية • ومن تلك اللحظة فصاعدا كانت دخلت الميدان لتفوز بمعترك المستقبل •

الفصل الرابع والعشرون - ظهور الخلايا

اندر المشهد البدائي وزال من الوجود، واضمحت المواد ما قبل الحياتية التي ولدت الخلايا الحية الاولى واندرست معالمها منذ زمن بعيد في عمليات دورية تكرارية لا تعد ولا تحصى قامت باستهلاكها واحالتها فيها ذات المتعضيات التي كانت مرة قد خلقت • ولم يتبق شيء ليشهد على ذلك الحدث الجلل قبل أكثر من ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة على الارض الاركية حين التقت المادة والطاقة لتخلقا كيانا حيا كتب له في النهاية أن يتكاثر وينتشر في كل بقعة وزاوية في القشرة الرقيقة المائية والغازية التي تتغمد الارض ، ومن ثم ليمد مجساته الى الخارج نحو الكون الرحب الفسيح •

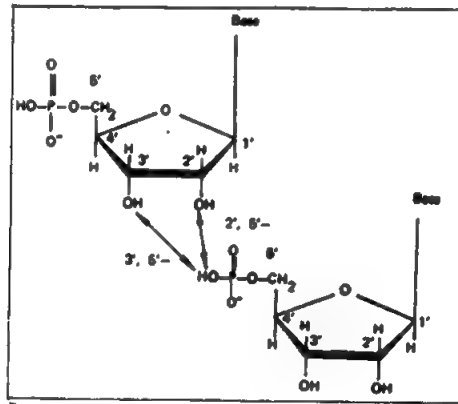
لكي نرسم الاحداث التي تواترت بين ما قبل ثلاثة الى اربعة آلاف مليون سنة خلت، يقتضي بنا أن ندرس انماط عمليات الحياة وتثبت من تيارات السلوك الملموسة ونحاول اقتفاء الخطوات التي تعاقبت بها الحياة • آنذ فقط نستطيع ان نقفل راجعين في الزمن الى ما وراء بداية التوالي او مخلوقات الدهر الوسيط واللاحشويات والاسفنج، ونعبر الى ما قبل ظهور اليوكاريوت، الى ما قبل مجيء الاوكسجين كمقوم حياتي، ثم تتجاوز الى العالم الحار النزع الغريب الذي كان سائدا في الدهر الاركي حين كانت البحار ضحلة ضحضاحة تسف حول القارات الطرية الحديثة النشأة التي كانت آنذاك مجردة ومسودة بترعصات وتشنجات البراكين التي تمخضت عنها •

انحرفت المواد ما قبل الحياتية التي تكونت على الأرض البدائية الى البطاح المنخفضة وتجمعت فيها وأخذت تتفاعل مع بعضها في حشود لا تحصى من الالتئامات والالتحامات الكيميائية الممكنة، فتحلماً بعضها بسرعة ليعود ويلتئم مرة أخرى بكيفية مختلفة ، وترسب غيرها أكثر استقرارا منها وبدأ يتراكم • ونشأت الحياة عن الالتحامات التي تمكنت من الاستمرار في البقاء •



لكن استمرار بقاء المواد الكيميائية الذي يعتبر اعتياديا ناشئا عن مقاومة التنفس، تم في هذه الحالة بطريقة أضمن من ذلك الى حد كبير. فالطريقة التي تمكنت بها أمزجة كيميائية من مواصلة استمرارها وتخليد بقائها كانت بتناسخها ذاتيا.

بدأ الامر بالنووتيدات. فقد كان بوسع هذه الكيميائيةات الالتصام ببعضها في اشكال شتى ضعيفة بواسطة الترابط الهيدروجيني ، بعضها أقوى من بعض ، ولكنها جميعها سهلة التحلل والانفكاك في المحلول . عند تحويلها الى مشتقات منشطة مثل البولي فوسفات والفوسفوراميدات وثنائي ٢، وثلاثي ٣، الفوسفات الدائرية تكثفت النووتيدات في سلاسل قصيرة ، وفي أغلب الاحيان تضامت المونومرات الى بعضها في ترابطات اسهامية ثنائية ٢، خماسية ٥، وكذلك في اربطة ثلاثية ٣، خماسية ٥، الموجودة في المنظومات البيولوجية.



لكي تتمكن من التناسخ بوجه فعال كانت بولي نووتيدات المتعضية تحتاج لتكون من صنف واحد من الترابط الاسهامي. فبأية وسيلة تمكنت الخلايا البدائية من الوصول الى بولي نووتيدات ذوات اربطة موحدة متسقة؟

طرح ديفيد أشر^(١) من جامعة كورنيل مخططا بيانيا يوضح كيف تمكنت النووتيدات المتضمنة اربطة من صف ثنائي ٢، خماسي ٥، (أي: 5', 2' وثلاثي ٣، خماسي ٥، بالتدرج من ان تصبح بولي نووتيدات ثلاثي ٣، خماسي ٥، بفعل نمط دائري في الطبيعة • عندما تلتوي اوليغونووتيدات ذو اربطة ثلاثي ٣، خماسي ٥، في لولب مزدوج تصبح لديها مقاومة اكبر للحلأة من النووتيدات ذوات الاربطة ثنائي ٢، خماسي ٥، التي تصدع التضريسة اللولبية ، وبتعريض بوليمرات مختلطة لاحوال دورة طبيعية ، ستززع الحلأة التفاضلية للرباط ثنائي ٢، خماسي ٥، الى استحثاث تراكم البولي نووتيدات البيولوجية •

في مخطط أشر كانت النووتيدات (نووسيدات: nucleosides 2'3'-phosphates تسخن وتشتوي في تواجد الايميدازول والمحفزات اللاحيوية الاخرى، ثم عقب هذه عملية تبريد وازافة القليل من الماء • ويقترح أشر ان بتكرار هذه الدورة مرارا ومرارا كان ليحصل تراكم متزايد من الاوليغونووتيدات ذوات الترابط الاسهامي ثلاثي ٣، خماسي ٥، (3', 5' linkage) • وهذه عملية كانت لتحصل كثيرا على الارض البدائية •

طلعت الشمس في كل صباح متعالية على وجه الارض الاركية وأخذت حرارتها تكثف النووتيدات الى اوليغومرات مختلطة • وبانقضاء النهار هبطت الحرارة فتساقط الندى على البوليمرات وبللها • وفي اثناء فترة الليل وجدت بعض الاوليغومرات ذوات الاربطة ثلاثي، خماسي (3', 5') في المحلول اندادا متممة لها لتكون معها لولاب قصيرة • وفيما طلعت الشمس مرة أخرى لتكرر الدورة كانت النووتيدات الملتصقة في اللولاب محمية لحد ما من الحلأة فيما تعرضت النووتيدات المرتبطة ثنائي، خماسي (2', 5') اللامحمية للحلأة التفاضلية • وتعاقت الدورة يوما أثر يوم، وفي كل مرة يزداد عدد البولي نووتيدات المتبقية في اربطة ثلاثي، خماسي (3', 5') في سلاسل أطول فأطول •



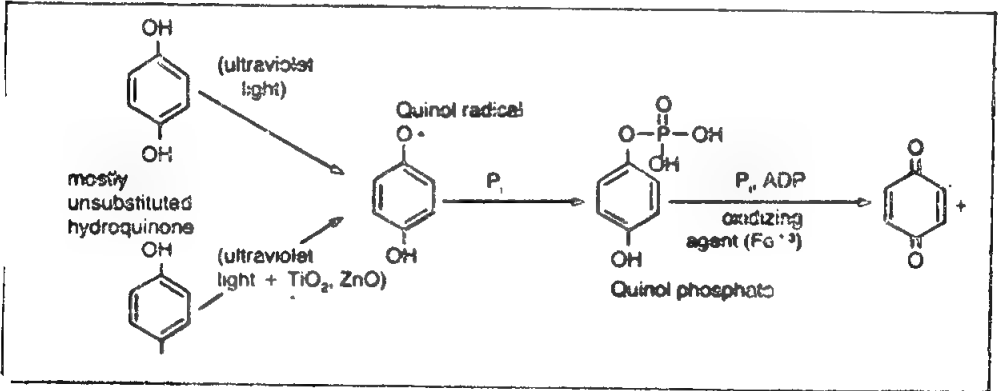
كانت النويات ذات بقواعدها من البيورين والبريميدين مجرد مواد كيميائية • لكنها مع ذلك كانت تملك القدرة على تشكيل الترابط الهيدروجيني، ليس مع نويات أخرى مثلها، وإنما مع نوية ذات قاعدة من الصنف الآخر. بهذه الطريقة كانت البولي نويات تصنع سلاسل من النويات المتسمة التي تكون الالتصاقات الأكثر استقرارية • بدأ تناسخ الجزيئات على الأرض يتم فقط من خلال فصل البنية المزدوجة الوهن وصنع نسخة من «المالبة» • ومع تمام هذه العملية أصبحت هي الأساس لتأيد أو مواصلة الانواع الجزيئية.

لكي تستطيع البولي نويات مواصلة تكونها دعت حاجتها الى طريقة تنشيط عملية ووقاية من الاشعة ما فوق البنفسجية الشديدة التي تحطم بنية النوية، عملت الترسبات على وقاية البولي نويات المتغطية ولكنها لم تتح لها ما يكفي من المجال لمواصلة التفاعل، و فقط عند غورها الى اعماق تحت غطاء سميك من الماء ملكت البولي نويات الحرية للتحرك في المحلول وهي محمية من الاشعاع الشرس (ملاحظة: ان ضوء ما فوق البنفسجي بموجة طولها ١٨٠ نانومترا ينفذ الى عمق أقل من سنتيمتر واحد، بينما بموجة طولها ٢٨٠ نانومترا يتخلل مسافة عشرة امتار في الماء قبل انطفائه) • والجزيئات المتناسخة التي كانت قد انجرفت الى البطاح المنخفضة وجدت نفسها في الاخير متصدة في الحويصلات التي تكونت من الرقيق الدهني المرن الذي غطى المياه البدائية.

بهذه الطريقة بقيت متمسكة في اتصال او تعاشر وثيق مع حيازتها على حرية الحركة التي كانت تملكها في المحلول المركز حيث تواجد قدر قليل من الماء. انما لمواصلة البقاء في الماء دعت حاجتها الى امداد من الطاقة الطليقة، أي أنها احتاجت الى التفسر • ويبدو انه كان في هذه المرحلة أن استتبعت

الخلايا الناشئة نوعا بدائيا من عملية التمثيل الضوئي.

يقترح ستيلويل^(٢) في ورقته حول نشأة الفسفرة الضوئية ان في الاحوال الاختزالية والضوء ما فوق البنفسجي الشديد للارض البدائية كان بوسع الاشكال الاولى من الخلايا استخدام الفسفرة الضوئية المبنية على فوسفات الكوينول (quinol) لانتاج ما تحتاجه من الـ ATP وغيره من النواتج المنشطة. في الخلايا المعاصرة تتواجد الكوينونات (quinones) في سلسلة الفسفرة الضوئية. لكن اليخضور وشبه الجزينات (carotenoids) هما ا- معان الابتدائيان (initial collectors) للضوء المرئي. ويمثل ستيلويل ان مسلسل المتفاعلات بدأ بالأصل بالكوينون وامتد الى مصاصات أو عوامل ماصة للضوء المرئي أكثر فعالية مع اضمحلال شدة الاشعة ما فوق البنفسجية عند بدء الطبقة الاوزونية بالتكون.



الشكل ١/٢٤ - نموذج مقترح للفسفرة باستخدام الضوء ما فوق البنفسجي
لانتاج الـ ATP.

كان الضوء ما فوق البنفسجي مدمرا قتالا بمقادير كبيرة ولكنه كان ايضا مصدر الطاقة الاكثر غزارة تزود منه المواد البسيطة . تتكون فوسفات الكوينول (quinol phosphates) من تعرض الهيدروكوينون (hydro-quinones) للضوء ما فوق البنفسجي بحضور الفوسفات اللاعضوية . ان فوسفات الكوينول عوامل فسفرة قوية وبمعية المشبوكة الكبريتيد الحديد القابلة للذوبان في الماء (وهي طليعة الفريدوكسين) تقوم بفسفرة الادب والأتب، وعلى ما يظهر كانت النووتيدات الاخرى تملك القدرة على التنشط بنفس الطريقة.

فائدة هذا النموذج هي انه يوضح انه كان من الممكن أن تكون الفسفرة الضوئية قد نشأت في زمن مبكر من تكون الحياة من المواد البسيطة بدون البنية العشائية المعقدة التي عثر عليها في آلية التمثيل الضوئي التي نشأت في زمن لاحق . وفيما نما الجهاز الجيني لدى المتعضيات واصبح اكثر عرضة للتلف بفعل الضوء ما فوق البنفسجي كانت الخلايا تستطيع الازدهار في اعماق او مناطق تنال القدر الامثل من الضوء للفسفرة ومواصلة البقاء.

وفي الاخير بعد ان تطورت المتعضيات الى نقطة ملكت معها قدرة تمثيل اعظم اصبحت قادرة على تنمية عملية التمثيل الضوئي مبنية كليا على التنشيط من الضوء المرئي باستخدام البورفرين ، وهي صنف الكيمائيات الذي يشمل اليخضور . يبين ستيلويل أنه حتى بعد ادخال استخدام البورفرين (porphyrins) مع كبريتيد الهيدروجين والهيدروجين والمركبات العضوية المختزلة كموردات الكترون (electron donors) ، ربما استمر انجاز الفسفرة بواسطة فوسفات الكوينول ، ولم تفقد الكوينون (quinones) دورها كعوامل فسفرة الا بعد أن اصبحت مشبوكة البورفرين - الكوينون - كبريتيد الحديد محبة للماء

ومرتبطة ببنية غشائية دقيقة محكمة ، وأنداك آلت الى مجرد مكوكات (shuttles) للالكترون والبروتون في آلية التمثيل الضوئي، وهو الدور الذي تقوم به حاليا.

كان يمكن أن تكون هذه الخلايا البدائية وشكلها الخام من عملية الفسفرة الضوئية وتناسخ البولي نووتيدات كثيرة الاعداد ، لكن الحياة آنذاك كانت تسير بخطى معوقة بطيئة . كانت التفاعلات بطيئة ، احيانا تستغرق اياما، وشهورا، وحتى سنوات، بسبب عدم وجود الانزيمات. لم تكن الاغشية الدهنية يتم توليدها بالتمثيل الحيوي، انما كانت لا تزال معتمدة على الترسيب الدهني ما قبل الحيوي المتراكم. ربما تواجد شكل خام من تبادل المواد بين الحويصلات عند اتحاد اثنتين منها ثم انقسامها ثانيا ، أو عندما كانت خلية متواجدة تتصل بها وتمتص مزيدا من الدهنية فتتفصل الى خليتين اثنتين مختلفتين، خلال هذه الفترة كانت الخلايا لربما مقتصرة على بيئات محصورة كالبحيرات البركانية ومناطق انحصار الماء الملائمة والمساعدة على اللقاءات.

ربما بقيت الخلايا البدائية موجودة في هذه المرحلة لمدة ملايين ولا يستبعد مئات الملايين من السنين. كانت الحوامض الامينية ومواد عضوية أخرى موجودة في البيئة المائية ، ولكنها لم تكن ذات اهمية تذكر. ولربما كانت الحوامض الامينية التي تسربت الى الخلايا احيانا تشكل ادنيلات (adenylates) وبالتالي هضيمتيدات قصيرة فيما كانت لا تزال بمثابة الايمينات

(imines) او بواسطة تشابك مجموعاتها الامينية بمكون خلوي باطني. غير ان هذه ربما لم يكن لها أي مفعول على الخلايا آنذاك ما عدا مجرد التكموم. كانت البولي نووتيدات لتعرض للتغير بالتبديل الطفري خلال هذه الفترة، انما كان يمكن ان تنشأ التنويع الاعظم من تبادل البولي نووتيدات



قصيرة بين قطين الخلايا (cell population) . كان اقتران هذه الوحدات في وحدات أطول على فترة مديدة من الزمن ليفضي الى عدد هائل من المؤتلفات . ويبدو من المعقول الافتراض انه كانت احدى هذه البولي نووتيدات هي التي أعطت جزيئة انطوت خلفيا على نفسها واتخذت شكلا ثلاثي الابعاد امتسك معا بالتواعد المتتمة المقابلة ، وذلك بعد ترجمة البولي نووتيدة الى سلسلة متتامة ، ثم اصبحت أول رنأ ناقلة (transfer RNA) وأصبحت سلسلة النووتيد التي تم نقلها او ترجمتها منها الجينة الاولى .

وبما ان الترجمة او النسخ (transcription) تشكل علاقة واحدة بوحدة (one-on-one) فلم تَمس حاجة الجينة لأول رنأ ناقلة الى طول أكثر من طول الرنأ الناقلة ذاتها . قامت مرغريت دايهوف وزملاؤها^(٣) في مركز طب جامعة جورج بواشنطن بدراسة التطور الجزيئي للرنأ الناقلة وتجنح الى القول ان النتائج كلها تشير بقوة الى ان الرنأ الناقلة جميعها مشتقة من جينة مفردة واحدة . جميع الرنأ الناقلة مشثلة من C, G, A, U, U, A, G, C وكلها تتضمن سياق تترامر مماثل في فص واحد، وجميعها تنتهي في CCA وجميعها تملك حوالي نفس الطول . كما يشير الباحثون ان احتمالية حصول حتى اثنتين من مثل هذه الجزيئات المتشابهة بالتطابق مستقلتين عن بعضهما وبنفس الوقت في نفس الخلية كانت ضئيلة للغاية . من جهة أخرى ، كان تناسخ (duplication) جينة الرنأ الناقلة متبوعا بتغيرات التبدل بالطفرة مستقلة في الجينات المنفصلة ليفضي الى منتوجات شديدة التشابه . والتضاعفات اللاحقة وسعت عدد الرنأ الناقلة بما يستوعب تنويعا من الحوامض الامينية . أما ان الرنأ السلف قبلت حوامض امينية من اديلات الحوامض الامينية ، او ربما ان نهاية CCA الطرفية للرنأ الناقلة كانت قد جرى تنشيطها

واقترانها مباشرة بحوامض امينية • ايا كان الامر ، من الواضح ان الرنأ الناقله بدأت كوسيط لا نوعي في تكثيف الحوامض الامينية عندما تراصفت مشبوكة الرنأ الناقله — الحامض الاميني في سلسلة بولي نووتيد تعمل كحامض نوويك رسول معاصر • لا يزال غير مفهوم تماما كيف طورت الرنأ الناقله نوعيتها، رغم النوعية الرابطة لكل رنأ ناقله بحامض اميني معين تكمن في الانزيمه التي تنفق الارتباط • الا ان الرنأ الناقله تمكنت في النهاية من ادخال آليه لتكثيف الحوامض الامينية الى هضيميدات متناظرة مع سياق النووتيدات في الجزئيه الرسول •

الريبوسومات هي جسيمات فرع خلوية تلعب دورا جوهريا في تمثيل البولي هضيميدات • وبدون الريبوسومات لا تبقى مشبوكة الرنأ الناقله — الحامض الاميني مرتبطة بالرنأ الرسول لفترة تكفي للتفاعل • لكي تتمكن الخلية البدائية من بدء الآليه دعت حاجتها الى شيء ما للمشاركة كريبوسومه أو ان يتسنى لها أن تنجز هذه الخطوة بكيفية ما بدون معونه هذه الجسيمات •

يرى فرنسيس كريك وآخرون^(٤) ربما ان تمثيل البروتين الابتدائي حصل لدى الرنأ الناقله التي تترايط بخمسة ازواج قاعديه بدلا من ثلاثة ، على الرنأ الرسول، كما هي الحال لدى المتعضيات المعاصرة • بهذه الطريقه كان الارتباط ليكون من القوه بما يكفي لمسك مشبوكة الرنأ الناقله — الحوامض الامينية في مكانها لفترة تكفي لحصول التكثف بدون الريبوسومه • كما اقترحوا ايضا ان كان قد تم تدوين اربعة حوامض امينية فقط للآليه الاصلية هي الغلايسين ، والسيرين ، وحامض الاسبرتيك، والاسبساراجين (asparagine) نظرا للتقييدات الناجمة المفروضة الكودونات من جراء ذلك •

من جهة أخرى تتألف الريبوسومات المعاصرة من زهاء خمسين بالمائة



(٥٠٪) من حامض النوويك والباقي من تنويعا من البروتينات • يبدو من الاكثر احتمالا أن تمثيل البروتين بدأ على الريبوسومات البدائية المتكونة من مشبوكات البولي نووتيدات وعملت الثلاثية او الثالثة بصفة الكودونة منذ البداية•

ربما لم تكن جميع الحوامض الامينية التي استخدمتها المتعضيات اللاحقة قد تواجدت ما قبل بيولوجيا • لكن حامض الاسبرتيك، والفلايسين ، والسيرين ، والالانين ، وهي الحوامض الامينية الالفا الاكثر شيوعا التي تتولد عن السيانييد والموجودة بكثرة في الفريدوكسين ، كانت ببالغ التأكيد ما قبل حياتية• أما الارجينيـن والهستيدين اللذان لم يتم انتاجهما بتجارب الافتعال ، فلربما انهما نشأ فقط من خلال التمثيل الحيوي فيما تقدمت المتعضيات في تطورها•

توجد فئتان من الحوامض الامينية ، الحوامض الامينية البنيوية والحوامض الامينية من ذوات المجموعات الوظيفية على السلسلة الجانبية • وبعض هذه الاخيرة، لاسيما التي لها مجموعة قاعدية مرفقة ، تلعب أدوارا حيوية في الانزيمات ولكنها لا تتكون بسهولة وسرعة في التجارب الافتعالية، كنتيجة، ربما ان مركبات ما قبل حياتية أخرى كانت قد عملت كبدايل الى أن تطور التمثيل الحيوي لهذه الحوامض الامينية • وكمثال هو ٤-امينو-ايميدازول-٥-كربوكساميد (4-amino-imidazole-5-carboxamide) وهو مشتق الايميدازول من سيانيد الامونيوم ، ربما كان قد عمل بصفة الهستيدين (histidine) للخلية الناشئة • كما ان التريبتوفان (tryptophan) والفيل الانين، والتيروسين، والميثونين، هي مرشحات أخرى ربما انها نشأت عن تمثيل حيوي•



ما ان أسست الخلية الاولى درجة من النوعية للرنأ الناقلة مع مناظرة الحوامض الامينية بسياقات النووتيد في البولي. نووتيد الرسول، فان أية هضميتيدات ذات فائدة لم تعد تكون عفوية الحصول وانما امكن انتاجها بحسب الحاجة اليها، مضافة على الخلية بذلك ميزة انتقائية. كان الفريدوكسين السلف أحد اول الهضميتيدات الناشئة ، وقد قام ايك (Eck) ودايهوف (٥) بتقني أثره عكسا الى تتراهضميتيدة او رباعي هضميتيدة (tetrapeptide)

يتألف الفريدوكسين ، الذي هو الآن بروتين كبريتيد الحديد ، من خمسة وخمسين (٥٥) حامضا امينيا في اشكال الحياة المتقدمة ، ونشأ بالتطور الى جزيئة متنامية في الكبر بالتوالي، وفي كل تغيير له تناول بروتينة جديدة كانت أكثر كفاءة من سابقتها كحاملة الكترو . وهذا قلما يترك شكاً في ان هذه هي الكيفية التي نشأت بها الانزيمات.

ربما كانت الخلية البدائية قد بدأت منذ زمن سابق تستخدم كبريتيد الحديد كمحفز أما لوحده او مرتفقا بالسيستين، او مع هضميتيدة لا حيوية من نوع ماء. ويبدو ان نشأة الفريدوكسين التطورية بدأت بالهضميتيدة (الاسب-سرغلي) (ala-asp-sergly) . أما جينة الهضميتيدة ، وطولها اثنتا عشرة (١٢) نووتيدة فتضاعفت في النهاية، وفيما اصبحت قدرات التمثيل لدى المتعضيات اكثر مطواعية وكفاءة ، تمكنت الآلية الجينية من استدماج حوامض أمينية أخرى . كانت السيستين بين هذه الحوامض الامينية ، ثم ارتفق الرابط الكبريتيدي بكبريتيد الحديد . والتبدلات الطفرة التي حورت وزادت سياق الحوامض تعقيدا خلقت مسلسلا من التغيرات افضى في النهاية الى مشبوكة من كبريتيد الحديد والبروتين شديدة التعقيد ذات قدرة متمكنة للغاية.

ليست الانزيمات مواد مفذاذة وانما تبدو كذلك فقط بفضل كفاءتها



المتناهية التي تتضاءل ازائها كل المحفزات الاخرى بالمقارنة . وقد خلق هذا الفهم الخاطيء الفكرة انه كان ليتعذر على اية منظومة بيولوجية أن توجد بدونها . وهذا بالتأكيد يصدق على اية متعضية بالقياس الى الحياة المعاصرة، لكن الخلايا البدائية كانت موجودة لفترة عدة مئات من ملايين السنين قبل أن تنشأ الانزيمات . غير انه ما ان نشأت الانزيمات كانت فائدتها الانتقائية للخلايا هائلة لدرجة ان الخلايا ذوات الانزيمات أخذت تتكاثر وتنتشر بسرعة، مكتسحة امامها جميع انواع الحياة البدائية الاخرى .

نشأت الانزيمات من مواد ايسر واكل كفاءة منها كانت تقوم بنفس الوظيفة التي تؤديها هي، فالهستيدين والبيريدوكسين وكبريتيد الحديد وغيرها كلها مواد تقوم بتحفيز التفاعلات الكيميائية وهي ايضا مكونات اصبحت جزءا من سلاسل الهضميتيد أو تشابكت معها في توليفات تنفق التفاعلات بسرعة اكثر مما لو كانت لوحدها . وفي الاخير نشأت الانزيمات من عملية تطور تمثيل البروتين التي جمعت هذه المواد الكيميائية التحفيزية ودمجتها في بنيتها كجزء منها لتصبح محفزات حيوية او بيو محفزات .

وأول الانزيمات التي نشأت كانت ستكون تلك التي تسهل وظيفة آلية التكاثف ، وكل فائدة تولدت للتناسخ انطلقت تنتشر مع الخلايا السريعة التوالد في جميع انحاء القطبين، وبهذه الطريقة اعطى الفريدوكسين، بتسريع عملية الفسفرة الضوئية ، فائدة مميزة للخلية البدائية . لم يتم بعد استيضاح التفاصيل البنيوية للانزيمات ذوات الصلة بلمرة وترجمة العمليات الى النقطة التي يمكن معها تعريف وتحديد اصول الانزيمات ، انما يفترض ان هذه الانزيمات كانت لتكون من بين الاوائل التي ظهرت في المنظومات البيولوجية .

لقد اكتشفت اعتق احافير المتعضيات المتواجدة على الارض مطلقا في تشكيلتي شجرة التين والانفرواكت في ارض او اقليم جبل باربرتون من شرقي



الترانسفال بجنوب افريقيا. تقع الاحافير في احجار الطر الخام التي تظهر أحيانا في طبقات افقية انما في الاغلب في جيوب كانت قد تكونت في سطح لا با عتيقة ، هناك، في مياه البحيرات البركانية الغنية بالفلزات ازدهرت اعتق اشكال الحياة على الارض، وانقرضت، واندفنت في الرواسب لتبقى مقبورة طوال ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون من السنين .

فهل كانت هذه الخلايا البدائية التي تكونت بالاول من التمام مواد ما قبل حيوية لتشكل الحياة ، أم كانت هذه حياة متطورة عن تهذيب الآليات الجينية والتآيضية وتشذيبها لفترة استغرقت مئات الملايين من السنين؟ في دراسة مقارنة لنشأة السيتركرومات والرنا الناقلة قام ماكلافلين (McLaughlin) ودايهوف^(٦) باحتساب زمن ظهور البروكاريوت ووجدا انه أبعد في القدم بقدر (٢ر٦) ضعف من زمن نشأة اليوكاريوت. فاذا كانت اليوكاريوت قد ظهرت في ما قبل الف وثلاثمائة (١٣٠٠) مليون سنة ، كما اوحى اليه الاحافير المجهرية لدى بريستون كلاود، فربما ان الخلايا البدائية كانت موجودة قبل ثلاثة آلاف وتسعمائة (٣٩٠٠) مليون سنة.

وهذه في الواقع باهرة تماما . اذ باعتبار ان الارض تكونت قبل اربعة آلاف وستمائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتبعثها مرحلة تي تاوري (T. Tauri) للشمس، فان هذا يتيح أقل من الف مليون سنة لتكون الجو والمياه من فعل البراكين، ، ولاتنتاج وتراكم المركبات العضوية ما قبل البيولوجية ، ولقيام الخلايا البدائية وتطورها الى متعضيات وظيفية تامة . فتمثل هذه السبعمائة (٧٠٠) مليون سنة بالتقريب الفترة الزمنية لأول تكون للجبال ، حيث تراكمت الحرارة من النشاط الاشعاعي في الارض ومرت خلال دورة بناء الجبال . وظهرت الخلايا البدائية مبكرا لدرجة لا بد ان العمليات التفاعلية التي أفضت الى تكونها كانت شديدة الاحتمال ، وفي الحقيقة شديدة الاحتمال لدرجة تستوجب اعتبار ظهورها حدثا حتميا كان لا بد منه.



الفصل الخامس والعشرون - الخلية العجيبة

كانت الخلايا العتيقة الاولى التي عامت متسحرجة بفتور وضنى في مياه البحيرات البركانية الدافئة في الدهر الاركي مجرد البداية . لكنها كانت حية جينيا او انساليا . كانت قد اجتازت العتبة ولم تعد الآن مجرد جزيئات جمادية لا حياة فيها، وكانت الواحدة منها التثاما من مكونات شكلت وحدة تضم نووتيدات نشيطة تكثفت الى بولي نووتيدات على بولي نووتيدات أخرى، وتقوم في اثناء هذه العملية بوظيفة التكاثر الجزيئي . لكن، مع ذلك، ربما كان الامر سينتهي هناك لولا خاصية خطيرة واحدة . لقد كانت هذه الخلايا الاعتق تملك القدرة على التغير . فبقي الباب مفتوحا قليلا .

عاشت الخلايا كحشد من التفاعلات الكيميائية ، وكل تحسن في كفاءة هذه التفاعلات جعل الخلية اكثر تنافسية على المواد المتوفرة في الوسط ، والخلايا التي سادت كانت تلك التي ملكت القدرة على الوصول الى مكونات لها اشد الفعالية في التكاثر وعجلت وتأثر التفاعل . وهذه القدرة على التغير مع ميزة احتمالها على الاشد كفاءة هي التي رفعت الخلايا الفطرية البدائية من مجرد كونها مواد حية جينيا ليس الا الى المتعضيات كما نعرفها اليوم بقدراتها البارعة على التأيض .

تمعج الدرب الى خلايا حية ايضا وتلوى في مهامه ومضايق التغير، كل منها مضاف تحسينا على قدرة الخلايا على تحفيز تفاعلاتها البيوكيميائية ، الى أن تتوجت هذه في الاخير بالمحفزات الاكثر اعجابا في الوجود ، ألا وهي الانزيمات . لكن قبلما يقبض للانزيمات لتصبح جزءا من الآليات الخلوية لا بد ومضت فترة طويلة تم في اثنائها وضع الاسس اللازمة لظهورها .

دخلت الحوامض الامينية ، والبيورينات، والبريثيدينات والدهنيات الى المنظومات البيولوجية كاملة تامة التكوين ، وكانت هذه لبنات البناء للمكونات البرلميرية المكثفة والبنية الخلوية. الا ان البروتينات مركبة من تنريعة من الحوامض الامينية أعظم بكثير مما يبدو كان متوفرا في خزين المواد ما قبل الحيوية . مع ذلك، كان يمكن ادخال بضعة حوامض امينية بعد بداية عملية تمثيل البروتين. وما ان اصبحت البروتينات القوام الرئيس للوظيفة الخلوية فان أي تغيير في حامض اميني مفرد كان يؤثر ليس فقط على بروتينة واحدة وانما على جملة كبيرة منها ، ولهذا السبب يبدو ان مسلسل الحوامض الامينية ظهر في الوجود قبل مجيء الانزيمات.

ينظر الى الحوامض الامينية عادة بمنطوق وحدات فرعية من البروتينات، ولكنها ايضا تعمل كطلائع لمواد يوكيميائية أخرى بما فيها حوامض امينية غيرها، وكانت الحوامض الامينية الاسهل والاسرع انتاجا من السيانيدات ، أي الآلاين ، والسيرين، وحامض الأسيرتيك، والغلايسين، لتكون متوفرة في البيئة بأعظم المقادير . ومن هذه الحوامض الامينية القلائل بذاتها تقوم الخلايا المعاصرة بتمثيل تنويعة كبرى من مكروئاتها الأساسية ، وذلك لربما بواسطة مسالك كيميائية تناقلت عبر الاجيال من الخلايا البدائية العتيقة . اذن، حتى قبل ظهور الانزيمات لابد انه كان يجري تمثيل حوامض امينية من اصل وراثي حيوي في الخلايا البدائية من خلال استحلالات كيميائية بسيطة كانت هي طلائع التفاعلات البيوكيميائية القائمة اليوم.

في العموم ، تشتمل عملية تمثيل الحوامض الامينية على مناقلة مجموعات وظيفية ($-NH_4$, $-CH_3$, $-CO_3$, $-CH_2OH$, $-CHO$) من مكوّن اوحامض اميني الى آخره. يمكن بتفاعلات المناقلة المجموعائية تحويل بضعة حوامض

أمينية الى تنوعية واسعة من حوامض امينية ومقومات بيولوجية جوهريّة أخرى . وهذه التفاعلات وغيرها هي التي يعمل حامض الاسبرتيك فيها كطليعة للبيورينات، والبريميدينات، والالانين، والثريونين ، والليسين ، والمثيونين، والارجنين . ويمكن أن يتجرد السيرين ، وهو حامض اميني آخر مشتق من سيانيد الهيدروجين ، الى بيروفات، كما يمكن لعملية نزع الكربوكسيل (decarboxylation) بدورها ان تؤدي الى الخلّات (acetate) والخلّات بدورها بشكلها المنشط بصفة الانزيمية المساعدة أ (acetyl coenzyme A) تدخل مباشرة في عملية تمثيل الدهون للغشاء الخلوي .

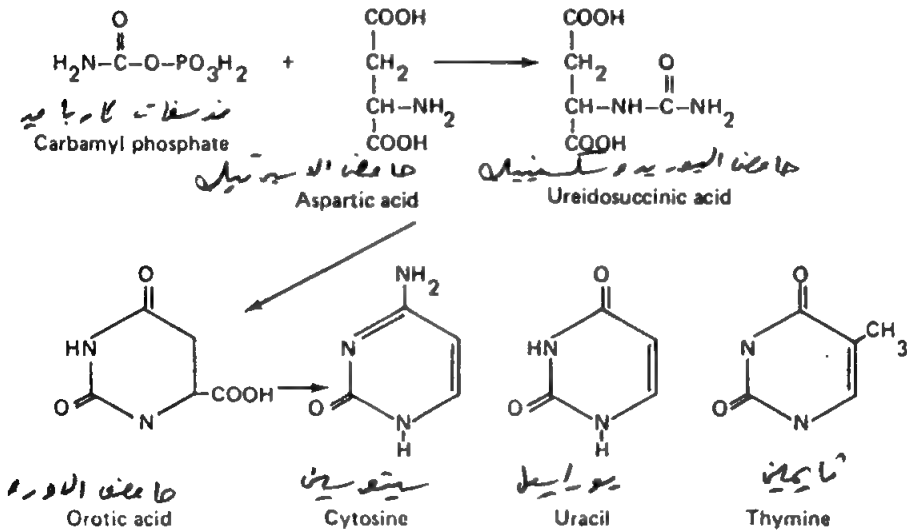
انه لعجيب حقا كيف تتمكن بضع مواد ان تعمل كطلائع لمكونات حيوية أخرى . وفي بعض المتعضيات ، بوسع البيروفات والخلّات والكربونات (pyruvate, acetate, carbonute) ، وهي مواد كانت لتكون شائعة عادية على الارض البدائية ، أن تقدم كل الكربون اللازم لكل من السيرين ، والغلايسين، والسيستين، والالانين، والفالين، واللوسين ، والايسولوسين والليسين، وحامض الاسبرتيك ، والثريونين، والمثيونين، وحامض الفلوتاميك، والبرولين، والارجنين

serine, glycine, cysteine, alanine, valine, leucine, isoleucine, lysine, aspartic acid, threonine, methionine, glutamic acid, proline, arginine.)

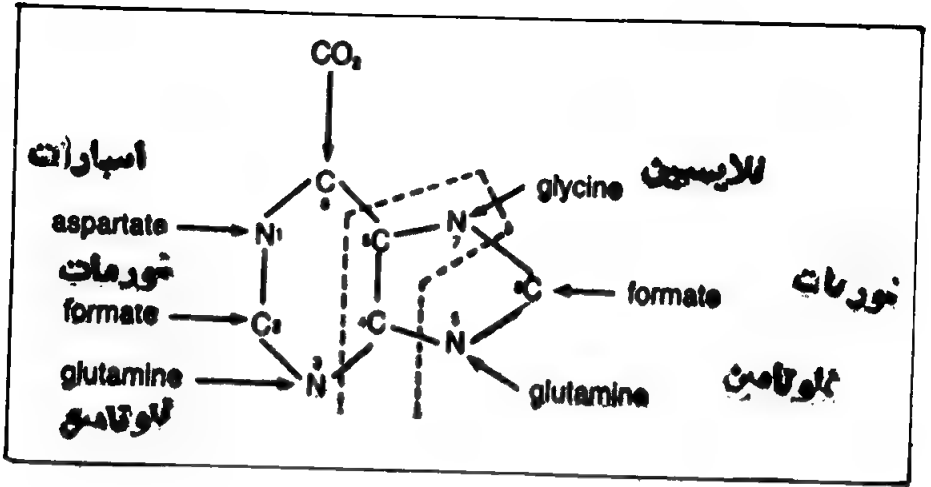
كانت جميع التفاعلات الكيميائية التي تستخدمها المنظومات البيولوجية موجودة قبل ظهور الحياة . وعليه، فإن الخلايا الناشئة لم تخلق اية تفاعلات كيميائية جديدة لتمثيل مقوماتها انما مجرد انها تبنت الوسائل اللازمة للتحكم بالتنوعات العديدة الممكنة منها، وحققت ذلك بتسريع تفاعلات انتقائية بواسطة المحفزات . ومن بين أهم المحفزات او عوامل التحفيز التي اندمجت



ان التمثيل الحيوي للبيورينات والبيريميدينات (purines, pyrimidines) وهي قواعد الحوامض النووية ، موجود في جميع المتعضيات ، وربما كان احدى عمليات التمثيل الاعتق التي لظمت للبقاء. في المتعضيات المعاصرة يتم تمثيل البيريميدينات في خطة (scheme) لا بد انها اصلية نظرا لشموليتها الجامعة وبساطتها . في هذه العملية يتفاعل فوسفات الكرباميل مع حامض الاسبرتيك لينتج حامض اليوريدوسكسينيك (ureidosuccinic acid) ومركب يستدير الى حامض الاوروتيك (orotic acid) وهو طليعة البيريميدين .



كما يتم استخدام حامض الاسبرتيك والفلايسين، وكذلك الفورمات (formate) وثاني اوكسيد الكربون في عملية التمثيل الحيوي للبيورين ، بينما تأتي اثنتان من الذرات النيتروجينية في البيورين من الفلوتامين .



وهكذا ، فقد كان يوجد في باطن الخلايا البدائية التي بدأت بكونها حية جينياً مجموعة كبيرة من التفاعلات الكيميائية التلقائية تعمل بوتائر مختلفة ادت في النهاية الى خلق متعضية نشيطة ايضاً . ومن هذه التفاعلات تلقت الخلايا البدائية تنويعاً متوافقة (assortment) من الحوامض الامينية اندمجت في الهضيميتيدات البيوجينية العتيقة . وبدأت الخلايا التي تضمنت محفزات كمشتقات الايميدازول والانزيمات المساعدة بتوليد يوكيمائيات أخرى كانت تعمل كمكونات مفيدة . كانت أغلب التفاعلات بوتيرة بطيئة ، والخلايا البدائية التي لم تتوفر لها المواد لتسريع الاستحالات المفيدة لتضيع في النهاية بتفكيكها أو امتصاصها من قبل الخلايا الاكثر نجاحاً .

كان الطريق التصاعدي الى البقاء مفتوحاً للخلايا التي كانت التفاعلات فيها أسرع وأكثر نوعية بزيادة مطرد ، وذلك لأن الكفاءة كانت السبيل الى التخلص من التفاعلات اللامقننة نحو التفاعلات النوعية التي أنجزت تمثيل منتجات نوعية تخصصية . ان الانزيمات المساعدة هي محفزات عامة لصنف من التفاعل الكيميائي . غير انه ، عندما ارتبطت بسلاسل البولي هضيميتيدات تقبضت حركتها واختلطت بتفاعل البولي هضيميتيدة مع الطبقة السفلية .



وظهرت انزيمات خام بدائية الى الوجود • وبالتدريج، خطوة فخطوة، فيما بحسنت الانزيمات باستبدال وتكبير الحوامض الامينية، أخذت تحصر دور الانزيمات المساعدة في التفاعلات النوعية الخاصة فقط بالجزيئات التي يوسعها أن تعمل بمثابة الطبقة السفلية بالتراكيب في شكل البروتين • بانتاج محفزات لتفاعلات نوعية مخصوصة انتظمت فوضى تواجد العديد من الانواع التفاعلية معا في الوسط الخلوي في مسلسل من التفاعلات النظامية • وباتتقال سيطرة التفاعلات الخلوية الى تمثيل الانزيمات، اصبحت عملية التمثيل الحيوي جينيا مبرمجة •

ان تمثيل محفزاتها الذاتية خلق للحياة إحدى خواصها الاكثر دينامية • اصبحت ذاتية أو كيفية التحفيز (autocatalytic) • ان الخلايا التي طورت الانزيمات التي قامت بتسريع تمثيل الانزيمات لتسريع التفاعلات الى سرعة أكثر وأكثر بالتزايد لم تلبث ان سبقت الخلايا البدائية الاخرى • كانت هذه عملية دائرية (cylical) عزلت في الجوهر الآليات الخلوية من البيئة ورسخت الطبيعة الاستقلالية للخلية • ومع تلقيم وارد من الطاقة لدفع عملياتها وآليات التغذية الارجاعية فيها للتحكم الذاتي الانتظام، انطلقت الخلية في مسيرتها في التطور البيولوجي • وأصبح استخدام الدوائر أو الدورات (cycles) في النهاية الطريقة السائدة في تكوين اشكال الحياة الذاتية الادماءة (٢) •

كجميع التفاعلات الجوهرية لدى المنظومات البيولوجية، انت عملية تجزئة الغلوكوز الى حامض اللبنيك متواجدة قبل مجيء الانزيمات • قام تشارلز ديغانى (Ch. Degani) وأم هلمان (٣) (M. Halmann) بطرح الايضاحات على التجرد القلوي لسداسي فوسفات الغلوكوز (glucose 6-phosphate) يتم بدون فعل الانزيم بالتفاعلات المتوازية والمتتالية (أنظر المعادلة التالية):

انيدولات

فوسفات

غلو كوز

٦ - فوسفات الفلو كوز

٦.١ - فوسفات الفروكتوز

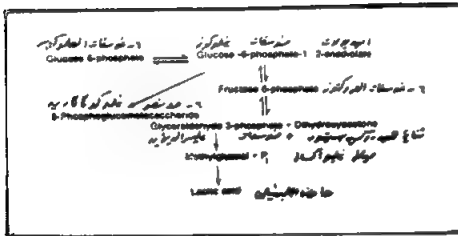
٦ - فوسفو غلو كوكا كاري د

ثنائي هيدروكسي اسيون فوسفات

جليسر الانديهايد

ميثل غليو اكسال

حامض الالبنيك



استغلت الخلية عملية الفلكلية (glycolysis) المتواجدة بتوجيه مسلسل التفاعلات التلقائية من خلال حامض البيروفيك، وبمعمونة الانزيم المساعدة NAD استدرت بعض الطاقة الكيميائية المسببة في عملية التجريد لاتاج جزيئين من الأتپ • ATP

وآنذاك اصبت هذه الوسيلة لاستخراج الطاقة من البنية الكيميائية للمواد الموجودة في البيئة ، وتم رفع الفلو كوز الى دور مركزي كمصدر للطاقة الكيميائية عندما اتمت المتعضيات الدورة بتوليد الفلو كوز من حامض البيروفيك ، اضافة الى الفلو كوز، تمكنت الكلوستريديا وهي من اعق اللاهوائيات ، من استخدام الكحول وحوامض الكربوكسيلك والحوامض الامينية كطبقات سفلية في التخمر، وهي مواد كانت لتواجد في الاحتياطي ما قبل الحيوي^(٤).



وقد اكتشف ان الكلوستريديا ، وايضا البكتيريا الضوء تمثيلية ، تملك القدرة على تثبيت ثاني اوكسيد الكربون بتفاعل يتم تحريكه بالفريدوكسين المختزل^(٥) . يؤدي تماثل او استيعاب (assimilation) ثاني اوكسيد الكربون الى كربسكسلة (carboxylation) انزيمية الاستييل المساعدة (acetylcoenzyme A) الى البيروفات وهذه تفضي الى تكوين هذه الحوامض الامينية : حامض الاسبرتيك ، وحوامض الغلوتاميك والالانين .

حتى مؤخرا كان يعتقد في العموم ان المتعضيات الارومية القديمة للارض كانت هيتروتروفات (heterotrophs) وهي لا ذاتية التغذية او الاعالة ، التي كانت تستخرج الطاقة الكيميائية من خلال تخمير الاحتياطي لدى المواد العضوية ما قبل البيولوجية . لكن الاركي بكتيريا او البكتيريا الاركية ، وعلى الاخص الميثانوجين ، ربما تكون اكثر قدما^(٦) . واذا كان الجو البدائي قد تكون من ابتثاثات البراكين ، كما هو المعتقد الآن ، فانه كان ليتألف على وجه رئيس من ثاني اوكسيد الكربون ، والماء ، والنيتروجين ، والهيدروجين . ان اختزال ثاني اوكسيد الكربون بالهيدروجين الى الميثان والماء تفاعل تلقائي ، لكن الوتيرة بطيئة لدرجة تجعل من الممكن ان يكون قد تسخر بفعل منظومة بيولوجية . وعلى ما يظهر استمدت الميثانوجين طاقتها الكيميائية من هذا التفاعل بالذات . تستطيع بعض الميثانوجين المعاصرة من استخدام مصادر أخرى قابلة التحويل الى ثاني اوكسيد الكربون ، مثل حامض النمليك ، لكنها جميعها لا تستطيع موايضة مصادر عضوية نموذجية مثلما تستطيع البكتيريا الاكثر قدما^(٧) .

بدأت الخلايا الاولى كمنظومات استساخ جينية تستمد مكوناتها من الاحتياطي ما قبل الحيوي (prebiotic reserve) ، وتم توسيع عدد الحوامض الامينية بالاستحالات ، وفي الاخير جاء تمثيل الانزيمات بعمليات



التأريض لدى المتعضيات التامة الوظيفية ، وهذه جميعها كانت تكييفات قديمة للغاية رسخت انماط الحياة لجميع اشكال الاحياء على الارض . لقد ازدادت البروتينات في العدد والتركيب منذئذ ، لكن الحوامض الامينية ثبتت واصبحت غير قابلة للتغير ، فان أي تغير آخر في احدى لبنات البناء الاساسية ستكون له آثار تدميرية على فاعلية الآلاف من البروتينات في المتعضية الواحدة .

وفيما كان يجري ترسيخ الطبيعة الجوهرية للحياة ، كان شيء آخر غريب يحصل . فقد بدأت بعض الخلايا اتقائيا باستعمال قدر اكثر من ايسومر بصري من الحوامض الامينية والريبوز مما هو في آخره . ربما ان التفاضل بدأ ببطء ولكنه تسارع أسيا فيما استهلكت الخلايا حطام خلايا أخرى الى أن خلال فترة وجيزة كانت جميع الخلايا تستخدم بلا استثناء الحوامض الامينية من فئة الفا ايل (L-a-amino acids) وسكاكر من فئة (D-Sugars)S

تتضمن المركبات ذات الكربون اللامتناظر (الكربون ذو اربعة بدائل مختلفة) ايسومرين اثنين مجسمين (stereoisomers) لكل واحد من هذه الكربونات (carbons) والايسومرات هي صور مرآتية واحدها للآخر لا تقبل ، الاعتلاء عليها (nonsuperimposable) ، وكتيجة يقوم شكل واحد بتدوير (rotate) الضوء المستقطب الى اليسار (-) والآخر الى اليمين (+) . وقد تم تأشير تضاريس الايسومرات البصرية (D) و (L) ليس لبيان اتجاه الدوران وانما كان تخصيصا اعتباطيا او مطلقا من الحوامض الامينية من كربون الفا (a-carbon amino acids) ورباعي كربون الخماسوزات او البنتوزات (4-carbon of pentose) مثل الريبوز ، وخماسي كربون السداسوزات او الهيكسوزات (5-carbon of hexoses) من مثل الغلوكوز .



في آلية التآيض الخلوية وبقيت فيها بوجه ثابت هي الانزيمات المساعدة
* (coenzymes)

ان الانزيمات هي بروتينات ذوات خواص تحفيزية. ويمكن ان تكون
سلاسل بولي هضميتيد بسيطة او بروتينات مقترنة مع حصة لا بروتينية
ملحقة بها لاداء وظيفة نوعية. وعليه، فان الانزيم المساعد (coenzyme)
هي القطعة أو الحصة من الانزيم مطبوعة للقيام بهذا النشاط، ويمكن اعتبارها
بالقطعة القابلة للفصل من البروتينات المقترنة. والعديد من الانزيمات المساعدة
تحتوي على فيتامينات كجزء من بنيتها، وفي العموم تقوم بوظيفة متقبلات
للالكترونات او المجموعات الوظيفية.

مثل المكونات الجوهرية الاخرى، يبدو ان أغلب الانزيمات المساعدة
تنسب الى أصل قديم عتيق، وربما انها هي وسابقتها المباشرة اصبحت جزءا
تام التكوين من المنظومات البيولوجية. أصبحت نووتيدات البيريدين
(pyridine) (ناد NAD ونادپ NADP) متقبلات هيدروجين لتفاعلات
الاكسدة - الاختزال، واصبحت الانزيم المساعد أ (coenzyme A)
الوسيلة لنقل الاسيل (Acyl transfer). وهذه النووتيدات هي مشتقات
ذوات تركيبة بسيطة نسبيا وكان يمكن ان تنشأ لا حيويا. وكانت الثيامين
والبيريدوكسال والبيوتين (thiamine, pyridoxal, biotin) انزيمات مساعدة
مستخدمة في نقل المجموعات.

يقوم الثيامين، بصفة ييروفوسفات الثيامين، في وسط قلوي بتحفيز

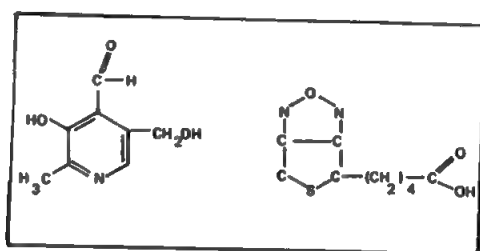
شطر $\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}\text{—}$ مع تكوين الديهايد نشيط (active aldehyde)

وبهذه الطريقة تمكن الثيامين او نظيره البدائي من تسريع تجزئة البيروفات الى



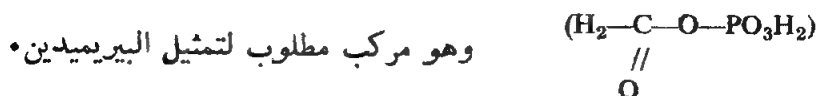
خلات لتتوفر لتكوين (acetyl-S-Co A) ، وهكذا تم تحويل الاسيتيل ومجموعات الاسيل الاخرى (acetyl, acyl groups) الى الحالة المنشطة لتمثيل الغليسيريد (glyceride) ليتسنى للخلايا البدائية المباشرة باعداد الغشاء الدهني الخاص بها.

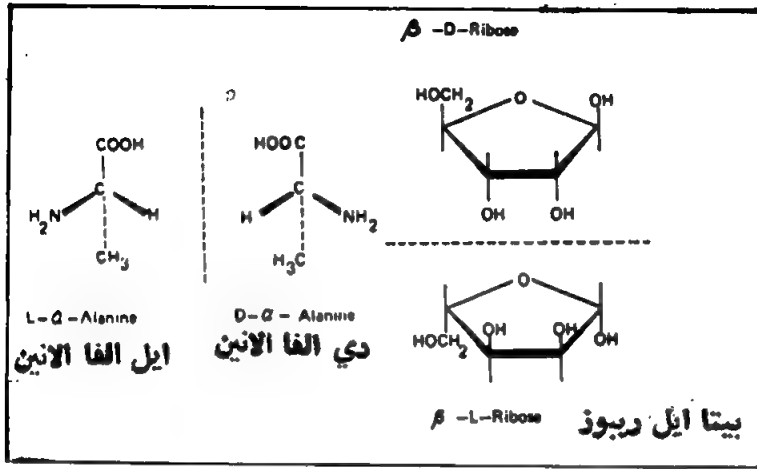
يشارك فوسفات البيريدوكسال في اصناف عديدة من التفاعلات • فهو بوسعه تحفيز عمليات نزع الكربوكسيل ونزع الامينات (deamination) وترحيل الحوامض الامينية • كما بوسعه ايضا نقل الكبريت من الميثيونين الى السيرين لتكوين السيستين •



الشكل ٢/٢٥ - البيريدوكسال والبيوتين

يعمل البيوتين كإنزيم مساعدة في تثبيت ثاني اوكسيد الكربون ونزع كربوكسيل الانزيمات • كما يوجد وفق ما أعلن عنه تفاعلات انزيمية أخرى للبيوتين مساس بها، الديهيدروجناز والديكربوكسيلاز السكسينية (succinic dehydrogenase and decarboxy lase) وايضا ديامينازات حامض الاسبرتيك، والسيرين ، والثريونين (deaminases of aspartic acid, serine, threonine) كما يدخل البيوتين ايضا في تمثيل فوسفات الكرباميل (carbamyl phosphate) وصيغته :





كانت الانتقائية التجسيمية (stereoselectivity) من قبل الخلايا البدائية خطوة عملاقة في اتجاه تنظم المادة في المنظومة الوظيفية التي نسميها بالحياة. ولما كانت الطاقات المطلقة أو السائبة للايسومرات البصرية متطابقة الشبه (identical) في بيئة خاملة أو غير نشيطة بصريا، فإن تشييل الحوامض الامينية، والساكر، والمواد اللامتناظرة الاخرى، ما عدا من قبل المتعضيات، يعطي عددا متساويا من الايسومرات المجسمة الممكنة. ومثل هذه الخلائط الاسيمية (racemic mixtures) تعجز عن ابداء أي نشاط بصري. وعليه فإن هذه الخاصية الفريدة للجزيئات البيولوجية عديمة النظير بحيث انها اعتبرت احدى صفات المنظومات الحية، وكخاصية رئيسة يجري الاختبار لها في المواد العضوية من النيازك، والقرارات الجيولوجية، والتحريات الكوكبية للتثبت مما اذا كانت من أصل حيوي أم خلافه.

لقد حير لغز أصل النشاط البصري منذ عام ١٨١٥ حين اكتشف جان



بابتيست يو (Jean Baptiste Biot) ان السكاكر ، وحامض الصاموريك ، والكافور، وزيت التربنتين، تستدر الضوء المستقطب المنبسط في الحالة السائلة او المحلول ، ثم اكتشف باستور ان هذه هي سمة ذاتية نابعة من لا تناظرية الجزيئات الفردية ، وظننا منه ربما ان المجال المغنطي للارض هو العامل اللاتماثلي الذي يستحث التمثيل اللاتناظري، قام بمحاولة فاشلة لاعداد ايسومرات بصرية باستخدام مجالات مغنطية شديدة القوة . لكن خطأ افترضه كان أحد اسباب اخفاقه ، وذلك لأن المجال المغنطي ودوران الارض كلاهما قوتان متناظرتان في واقع الحال .

يمكن فصل الايسومرات البصرية في المختبر بصعوبة بالغة فقط، وحتى آنذاك بالاستعانة عادة بايسومر نقي آخر، وظل التمثيل النوعي التجسم هدفا يقض المضاجع سنوات طويلة حتى بلغ اليأس بالعلماء في محاولاتهم تمثيل الايسومرات المجسمة حدا دفع أف آر جاب^(٨) (F.R. Japp) في عام ١٨٩٨ الى احياء النظرية الحيوية بالاعلان ان التمثيل الاولي للجزيئات اللامتناظرة كان مستحيلا ، وان الجزيئات اللامتناظرة هي كالمعضية الحية ، لا يمكن اشتقاقها الا من جزيئات لا متناظرة فقط .

لم يكن جاب مصيبا تماما في استنتاجه ، ولكنه شدد على السؤال: كيف نشأ النشاط البصري لدى المنظومات البيولوجية اذا كانت الخلايا الحية فقط تملك القدرة على انتاجه .

تنقسم النظريات التفسيرية حول كيفية صيرورة المنظومات البيولوجية تجانسية التجسم الى فئتين اثنتين: نظرية ما قبل الحياة ، ونظرية ما بعد نشأة الحياة . يحاول ادعاء النظرية ما قبل الحياة ايجاد الوسائل الطبيعية التي تمكنت من انجاز التمثيل النوعي التجسمي في المركبات ما قبل الحياتية . أما الآخرون فيحاججون بأن التجانسية التجسمية نشأت من اصول بيولوجية



قام فانت هوف^(٩) (Van't Hoff) بدراسة الضوء المستقطب كعامل محتمل كان بمقدوره التسبب في نشأة التمثيل اللامتناظر في الاحوال الطبيعية . وقد ورد الاقتراح منذ ذلك الحين بأنه كان بإمكان الضوء المستقطب المنبسط جزئيا من السماء بتحويله الى ضوء يميني (right-handed) مستقطب دائريا وجزئيا عند انعكاسه على سطح الارض تحت تأثير المجال المغنطى ان يؤدي الى تحليل الايسومرات البصرية . فتم وضع هذه الفرضية قيد الاختبار التجريبي بالتحطيم الضوئي المتجسم الانتقاء للايسومرات مع الضوء المستقطب المستدار^(١٠) (circularised) ، لكن نسبة التحليل او الفرز (resolution) المحققة كانت ضئيلة للغاية حتى بعد تفسخ نصف مواد المباشرة . ثم تضاءلت اهمية النتائج أكثر ازاء الحقيقة ان الضوء الطبيعي أقل استقطابا من الضوء المستخدم في التجارب . ولم تكن الاختبارات مقنعة ك تفسير لأصل الايسومرية التجسيمية .

توجد في الطبيعة بلورات عديدة نشيطة بصريا ، منها على سبيل المثال بلورات الكوارتز اليمينية واليسارية ، وهذه البلورات تفقد نشاطها البصري عند الصهر أو الاذابة ، لكن الفقدان هذا لا ينشأ عن الجزيئات اللامتناظرة وانما عن الترتيبية اللولبية لسلاسل السيلكون الاوكسجين في البلورة (—Si—O—Si—O—) . فقام هارادا^(١١) (Harada) باستخدام مسحوق الكوارتز النشط بصريا لتصويب توجه تكوّن بلورات الحوامض الامينية ، الا ان الانشطة كانت ضئيلة بحيث انها قاربت حدود الخطأ التجريبي .

من الممكن في الاحوال المقننة (controlled) بعناية استحضاث تبلور تفاضلي للايسومرات البصرية من محاليل فائقة التشبع للخلائط الراسيمية أما بواسطة النثر او تلقائيا ، وقد امكن تحليل او فرز حامض الصاموريك ، وحامض التفاحيك ، وحامض اللينيك ، والثريونين ، والهستيدين ، وحامض

الغلوتاميك، وعديد غيرها بهذه الطريقة • يستخدم اسلوب النثر أو البذر (seeding technique) على هذا النحو في اليابان لاعداد ايل-غلوتامات المونوسوديوم صناعيا (monosodium L-glutamate) • الا انه رغم ان هذا الاسلوب يبدو رائقا للغاية، فانه من الصعب تصويره كأصل لنشأة النشاط البصري البيولوجي • فهو لا يدي أي اتقاء تفضيلي لايسومر على ايسومر آخر، ثم ان الاحوال المختبرية مثالية أكثر مما يمكن اعتباره وسطا طبيعيا •

لقد طرح ان النشاط الاشعاعي الطبيعي ربما كان عاملا مساهما في الانتقائية المجسمة (stereo-selectivity) لدى المتعضيات البدائية^(١٢)، وقام أم كولدهابر^(١٣) (M. Goldhaber) وآخرون بالتدليل على تقطّب الكترونات تفسخ بيتا (beta-decay electrons) المنبثة من ^{60}Co بالالتفاف في اتجاه واحد • ولا يستبعد عقلايا ان تكون لا تماثلية (dissymmetry) هذه الجسيمات البدائية قد أثرت في الجزيئات بقوة فيزيائية لا تناظرية (asymmetrical) • وفي مقالة حديثة في (أصل الحياة Origin of Life) اقترح ايج بي نوز (H.P. Noyes) ودبليو أي بونر (W.A. Bonner) وجيه أي توملين (J.A. Tomlin) من جامعة ستانفورد ، انه من الممكن أن تكون الكترونات تفسخ بيتا من الكربون اربعة عشر في الحوامض الامينية (^{14}C in amino acids) قد اظهرت بعض التحطيم الانتقائي للدي ايسومر (D-isomer) ، غير انه يبدو ان هذا التفاعل يعمل على اللوسين فقط، كما انه من المشكوك في ما اذا كانت وتيرة التحويل سريعة بما يكفي لتجاوز قدر الريسة او التريس (racemisation) •

ليست الايسومرية البصرية في الحوامض الامينية والسكاكر تفسرية

مستقرة مطلقا. وعندما تترسم (isomerise) الايسومرات البصرية تفقد نشاطها بالتوازن نحو عدد مساو من كلا الايسومرين . كما ان الحوامض الامينية النشيطة بصريا تترسم من خلال تآين الفاهيدروجين (hydrogen) بوتيرة مستقلة عن مستويات (يُد) ما بين (٣) و(٨)، ولكنها تتأثر بدرجة الحرارة . وانصاف اعمار الايسولوسين، والالانين ، والفنيل الانين ، تبلغ على التوالي (٣٥٠٠٠) سنة و(١١٠٠٠) سنة ، و (٢٠٠٠) سنة في درجة حرارة (٢٥) مئوية^(١٥).

ان الصعوبة في المحاولات لايجاد تفسير ما قبل الحياتي للنشاط البصري تكمن في أن جميع الاحوال المعتقد انها كانت متواجدة في البيئة البدائية تجذب ريسمة الايسومرات البصرية وليس مراكمتها. وعليه لابد ان المتعضيات البدائية تبنت اسلوب الاتقائية المجسمة بكيفية ماء، وبسبب فائدة ملازمة له اتشر في جميع اشكال الحياة على الارض.

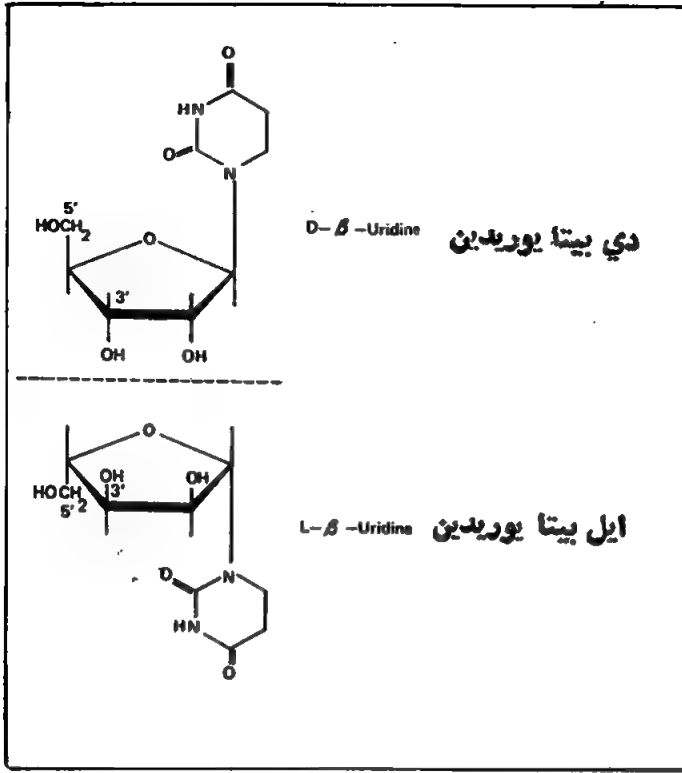
ولا يحتاج المرء الى التوغل في اعماق البيولوجيا الجزيئية لبحث عن الجواب، فانه يمكن تشييد حامض نوويك مزدوج الوهن تناسخي أما من جميع الدي-ريبوتيدات (D-ribotides) أو من جميع الايل-ريبوتيدات (L-ribotides) ، الا انه لا يمكن تشييد بنية انتظامية من خليط من الاثنين^(١٦). يتطلب التغير من دي-الى ايل-بيتا-يوريدين (from D- to L-Beta-uridine) قلب كل بديل في مستوى حلقة الريبوز. فاذا أجريت محاولة لدس ايل-بيتا-يوريدين في لولب حامض النوويك مزدوج الوهن، فانه سيظهر ان ثلاثي وخماسي تكافؤ الهيدروكسيلات (3'-and 5'-hydroxyls) لا تترابط على الوجه الصحيح مع النووتيدات المجاورة.



يتكثف حامض دي-ادنيليك (D-adenylic) المنشط مع دي-ادنوسين (D-adenosine) ولكن ليس مع ايل-ادنوسين في مرسومة حامض بولي-دي-يوريديليك . وقد كانت بولي نووتيدات المتعضيات البدائية نشيطة بصريا ليس بفعل تكون طبيعي غامض محيّر لايسومرات معينة، وانما فقط لأن البولي نووتيدات نوعية التجسم كانت لتعمل في الآلية الجينية.

وعلى نفس الفرار ، ان التضريسة اللولية هي التي تمنح البروتين شكله النوعي. وعلى شكله النوعي هذا (specific shape) تعتمد قابليته للانحلال وقدرته على التبلور وعلى الدخول في تفاعلات كيميائية نوعية مع جزيئات أخرى. يمكن تحقيق تشكّل تطابقي محدود مع الحوامض الامينية التي ليست بصريا نقية، الا ان التأثيرات الحيزية تعوق البنية بشدة . انما يبدو أن تنويعا متمقا (assortment) عشوائية من فضلات الحوامض الامينية ايل-ودي-تجعل لولب الفا مستحيلا . ربما ان الخلايا الناشئة استدمجت الحوامض الامينية الايل-فقط عندما حصل تمثيل الهضميّيد بترجمة البولي نووتيدات المتجانسة التجسم، وكانت فقط الحوامض الامينية من نفس التوجه الحيزي لتتراص على الوجه الصحيح لغرض التكثيف . (ملاحظة: توجد استثناءات للتجانسية التجسمية في المنتوجات الطبيعية . فمضادات الحيوية من غراميسيدين وتايروسيدين gramicidin, tyrocidine وغيرها هي هضميتيدات مع الحوامض الامينية دي-مدمجة في سلاسلها).

جميع المنظومات البيولوجية على وجه الارض تستعمل نفس الايسومرات البصرية. الا انه يفترض ان متعضية تستخدم حوامض امينية من ايل - ريبوز ودي-ريبوز كانت ستعمل بنفس الفعالية كمنظائرها التي تطورت . فاذا كانت المواد ما قبل الحياتية راسيمية لماذا اذن لم ينشأ كلانوعي



المتعضيات؟ في الحقيقة لا يسعنا الا أن نحدث ان الخلايا البدائية التي استخدمت دي-ريبوز نشأت قبلا وكانت تملك ما يكفي من القدرة للقيام بتمثيل العديد من مكوناتها قبل ظهور أي من اضدادها.

حصلت محاولات لتمثيل ظهور الخلية الاولى بمثابة «حرب» بين المتقابلين (antipodes) البصريين على خزين المواد ما قبل الحيوية . ألا ان هذا يبدو غريبا لأنه لم يكن أي من الصنفين ليستخدم ايسومرات الآخر. انما بالاحرى يبدو أكثر معقولة انه نشأ صنف واحد من الخلية البدائية وأن الحوامض الامينية والسكريات التي قامت بتمثيلها انزيماتها النشيطة بصريا لم تلبث أن انتشرت بسرعة وطفعت على جميع المواد البيولوجية بصنف نشاطها البصري.



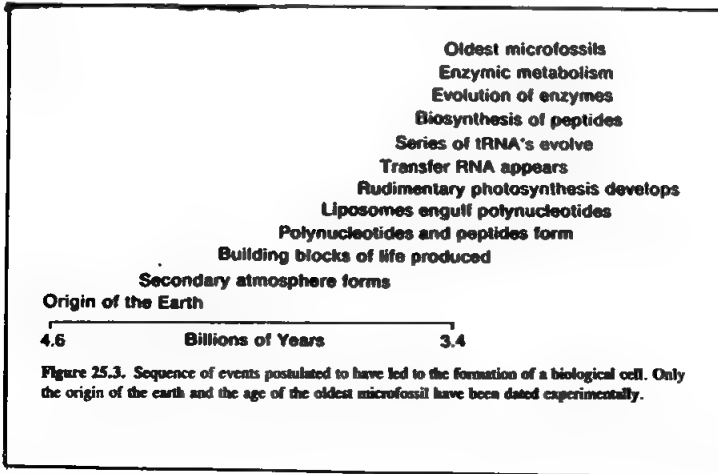
وعليه ، اذا كانت جوهريا جميع المادة العضوية على الارض من أصل حيوي، فان مقدار المادة العضوية ما قبل الحيوية التي تواجدت على الارض البدائية، ربما مبالغ فيه الى حد كبير . وقد أشار هارولد بلوم (١٧) (Harold Blum) أنه اذا كان كل الاوكسجين على الارض يعادل مقدار ثاني اوكسيد الكربون الذي تم تماثله في الكربوهيدرات، فان هذا يساوي 4×10^{19} مولة (أي جزئي غرامي) . وبوتيرة التأيؤ الحالية ، بدون مزيد من التجديد بالتمثيل الضوئي، ستدوم المواد العضوية كامدادات غذائية لما يناهز ثلاثة آلاف سنة فقط، ولما كانت وتيرة الاستعمال الحالية أسرع بكثير منها في الازمنة البدائية، فان تقديرا تقريبا لمدة فترة تواجد الحياة البدائية قبل تنشئة التمثيل الضوئي لا يمكن ان يقع في أكثر من بضعة عقود من آلاف السنين .

يوحي هذا التقدير الى أن التمثيل الضوئي ظهر قريبا جدا من بداية الحياة . كما انه ايضا يدل على انه لم يكن يوجد أي تراكم هائل من المادة العضوية ما قبل الحياتية على الارض البدائية لادامة الحياة لأي فترة من الزمن . لم يكن يوجد أي «حساء بدائي» اسطوري ما عدا على نطاق محلي ضيق . بدأت الحياة بتراكم ضئيل من الطلائع واستمرت في البقاء فقط بصيرورتها ذاتية الادامة .



اقدم الاحافير المجهرية
 التايض الانزيمي
 نشوء الانزيمات
 التمثيل الحيوي للهضميتيدات
 نشوء مسلسل آر ان اي ناقلة
 آر ان اي ناقلة تظهر
 نهو ضوء تمشيل بدائي
 اللانوسومات ثقلف البولي نووتيدات
 البولي نووتيدات والهضميتيدات تتكون
 انتاج اينات بناء الحياة
 جو ثانوي يتكون
 اصل الارض

الشكل ٣/٢٥ - توالي الاحداث المفترض انها افست الى تكون خلية مجهرية
 بيولوجية. فقط اصل الارض وعمر اقدم احفورة مجهرية
 مؤرخان مختبريا.



الفصل السادس والعشرون

طرائق اخرى ، اماكن اخرى

ان العقبة الكبرى في رسم كيف بدأت الحياة كانت نجاح تطورها بذاته . فان كفاءة تعقدية أي كائن حي، حتى ابسط متعضية مجهرية، رهبة مهولة لدرجة انها قد خلقت الفكرة ان الحياة لم يكن يمكن أن تتواجد الا بشكلها الحالي . ان صورة آلاف الجزيئات العملاقة متوافقة منسجمة بتناغم تام دقيق في عبوة أصغر بكثير مما يمكن رؤيتها تنشأ بلا عون من مواد بسيطة وتصبح حياة كاملة تبهر العقول . مع ذلك، نظرا لضخامة طول الزمن الذي تواجدت خلاله الحياة على الارض، فقد استلزمت النشأة حصول تغيرات متوالية في بروتينات فردية على فترات تبلغ بضعة ملايين من السنين بين تغير وآخر . ان الصعوبة في الأمر هي ان أفكارنا مقتنلة في حجم وزمن عالمنا الحالي . انما فترة عمر الفرد ، وعمر الحضارة ، والفترة منذ ان اصبح الانسان نوعا ، ليست سوى لحظات عند مقارنتها بالثلاثة آلاف مليون سنة التي استغرقتها الخلية البدائية للتطور الى مستوى السمك الهلامي . بقيت الحياة بمستوى متعضيات مجهرية احادية الخلية طوال ثمانين بالمائة (٨٠٪) من مجموع زمن تواجدها على الارض .

بارتباطها ارتباطا وثيقا مقللا بنشأة الارض ذاتها، تحصل الحياة مرة واحدة فقط . ذلك لأن المواد ما قبل الحياتية التي افضت الى بداية الحياة امكن تكونها فقط في الاحوال الاختزالية السائدة في الجو البدائي، وظهرت اليوكاريوت فقط بعد تطور مديد للبروكاريوت وبلاستجابة مع اكسجة البيئة ، وتسنى ظهور المتعضيات المتعددة الخلايا فقط بعد تجاوز تركيز الاوكسجين الطليق في الجو لنقطة باستور ، وجاء استيطان القارات بعد أن نشأت طبقة الاوزون في أعالي الجو كدرئسة واقية لحجب الاشعاع



ما فوق البنفسجي •

وما ان جاءت الحياة الى الوجود، فانها لم تملك من نفسها الا ان تواصل السير في اتجاه واحد، قدما من البسيط الى المعقد • وقوى الانتقاء الجانحة الى التنوعات الافضل تمكنا من ضمان استبقائها وتناسخها حملت الحياة الى أمام • وكانت نتيجة ذلك الانتقاء التوجه قدما الى كفاءة وقدرة أعظم باطراده • فيما عبرت المتعضيات مرحلة الخلية البدائية من التعقيد كف كيانها عن كونه فطريا ذاتيا في بنيتها الكيميائية وارتبط ارتباطا وثيقا ومقفلا بالمكونات النوعية التي تبرمج تمثيلها جينيا في ترقية الخلية • وعندما بلغت المتعضيات هذه المرحلة انقطع عنها خط الرجعة ، ولم يكن بوسعها الا المضي قدما • كانت الحياة الآن قد آلت الى وتيرة الرتابة حيث لا يمكن لخلية النشوء الا من خلية حية سابقة • (ملاحظة: يبدو ان الفيروسات والريكتسيا تطورت بعكس هذا المبدأ، لكنها على ما يظهر اشكال مسوخة ، بدلا من اصناف اكثر تطورا) •

وعندما بلغت المتعضيات مستوى التعقيد حيث لم يعد معه الالتئام الذاتي ممكناً، ابتنى شبح الموت وأصبح جزءاً من الحياة. استلزم نمو التعقيد اتحاداً تاماً. ومع كل خطوة في التطور، حيثما تفكك التئام مقومات الخلية، أصبحت فرص التئامه ثانية في وحدة وظيفية أقل احتمالاً، وأصبحت الحياة المفقودة حياة لا تستعاد، وارتعن استمرارها بنقلها إلى أجيال جديدة.

إن لبنات البناء للمنظومات البيولوجية هي النوتيدات، والجوامض الامينية، والكربوهيدرات، والدهنيات، وتتألف الرياضة من بوليمرات شبه سلسلة من هذه الوحدات ملتئمة معاً في كيان خلوي متكامل التوافق. بقيت اللبانات هي نفسها، لكن البوليمرات نمت وتنوعت، منتحة بفعل تغير التبدل الطفري وضغوط الالتقاء الطبيعي. أما الانزيمات، التي تعمل طبيعتها على تحديد وتثبيت الخواص الفيزيائية والكيميائية للمتعضية، فقد واصلت التعرض لفعل التغير التطوري، مواكبة مبدأ الاستمرارية باتباع كل خطوة في التطور بسابقتها في زحف مطرد منذ ما يقرب من أربعة آلاف مليون سنة.

كانت النتيجة أن المتعضيات احتفظت بطبيعتها الجوهرية ولكنها انقسمت وتطورت إلى تنوعات شتى هائلة بغية استغلال جميع المصادر الكيميائية والطاقوية، والأشكال المختلفة المتضاربة والشمعة إلى حد اللامعقول للحشرات والأحياء المجهرية تشهد على الهيات التي تستطيع الحياة أن تتخذها لبلوغ هذا الهدف. كما أن الأحوال التي تتمكن المتعضيات الاعتياش فيها ومواصلة البقاء في بقعة بيئية مذهلة حقاً. فبوسع الطحلبة سيانديوم كاليداريوم (calidarium cyandium) في محاليل مركزة من حامض الكبريتيد الحار، ويقال أن بوسع البكتيريا المنتجة للكبريتات أن تنمو وتتكاثر في درجات حرارة تبلغ (°١٠٤) مئوية تحت ضغوط عالية، والعديد من المتعضيات



تستخدم مقاومات تجمد عضوية ولا عضوية لتخفيض نقطة التجمد لسوائلها الباطنية ليتسنى لها العيش في عدة عشرات من الدرجات تحت الصفر المئوي . بعض الحشرات تستعمل كبريتوكسيد الدايمثيل (dimethyl sulfoxide) كمضاد للتجمد .

وعليه ، ان البيئات التي تستطيع الحياة والتواجد فيها متوفرة ومتنوعة ، والامثلة العديدة توضح قدرة المنظومة البيولوجية على التكيف من خلال الالتقاء من التنوع في الانزيمات والعمليات المشتقة منها . ومع ذلك ، فجميع اشكال الحياة المختلفة هي في الاساس واحدة نفسها ، تستخدم حوامض النويك كمخزنها للمعلومات وتستخدم الانزيمات لتحفيز تحويلاتها الكيميائية . كما ان لبنات البناء متطابقة نفسها ايضا ، انما تختلف المتعضيات في البنى المركبة منها فقط .

وبالنتيجة ، عندما تأمل امثلة الحياة ، نجد انه يوجد واحد منها فقط .

ان المسألة هي ما اذا يوجد مثال واحد من الحياة لأنها تستطيع التواجد فقط في شكل واحد ، وعليه فهي فريدة فذة ، أم ان هذا هو الشكل الذي تخلف في البقاء من بين عدد من الاشكال الممكنة كان بوسعها التواجد فيها . سبق لنا ان تأملنا الفكرة ان المتعضيات تستخدم الحوامض الامينية ايل الفا (Lamino acids) وسكاكر دي (D-Sugars) ، لكن ليس ثمة مبرر لعدم تكونها من حوامض امينية دي الفا (D) وسكاكر ايل (L) . كما كان بوسع المدونة الجينية (genetic code) ايضا ان تتألف من تشكيلات أخرى بدون التضحية بأي قدر من الكفاءة والفعالية . توجد حالات حصل فيها انتقاء ليس من جراء فائدة تجني ، وانما بسبب امكان استعمال متقابل قطبي (antipode) واحد ومدونة واحدة فقط ، وأملت الاختيار في حينها الظروف



المحيطة • غير انه ما ان التأمّت الخلايا الحية حتى اصبحت جميع الكائنات الحية مرتبطة في صنف واحد من المنظومة البيولوجية طوال بقية تواجدها حياتها.

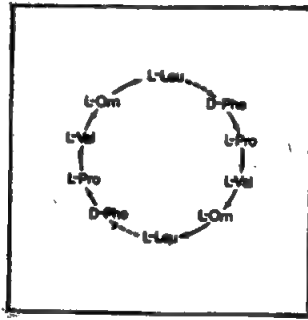
هل كان يمكن أن تبدأ الخلايا البدائية بصورة مختلفة ؟ تقول ميري ايلين جونز (Mary Ellen Jones) من جامعة براندايس وفريتز ليمان (Fritz Lipmann) من معهد روكفيلر انه كان بإمكان المتعضيات الحية الاولى أن تستخدم البولي فوسفات اللاعضوية بدلا من الأتب (ثلاثي فوسفات الادنوسين) لاستحالة الطاقة (energy transformation) • فاذا كان البيرو فوسفات قد سبق الأتب كركب الفوسفات الاولي الغني بالطاقة ، فانه من الممكن ان تتواجد بقايا تآيضية من هذا الصنف بين الاصناف البدائية من المتعضيات على قيد الحياة اليوم . وبالفعل ، وجد ان الامر كذلك ، فقد اكتشف آي أس كوليف^(٢) (I.S. Kulaev) وجود بكتيريا وفطريات تتضمن انزيمات تقوم بتحفيز تمثيل البيرو فوسفات اللاعضوية بدلا من الأتب، ووجد بالتشفيسكي^(٣) (Baltscheffsky) ثمانية تفاعلات تشمل بولي فوسفات لا عضوية في البوصيات الملونة او الكروماتوفور (chromatophores) عند البكتيريا رودوسبريلوم روبروم (Rhodospirillum rubrum) ، وهي بكتيريا ضوء تمثيلية . فاذا كان البيرو فوسفات قد استخدم قبل الأتب في التآيض الخلوي فانه ربما كان قد اهتمل من جراء قدرة النوتيدة على اقامة علاقات ارقى وأكثر نوعية مع الايضات الخلوية ، اضافة الى قدرة الأتب على انجاز وظائف أخرى بعيدة عن تناول البولي فوسفات اللاعضوية .

هناك فكرة أخرى تفيد ان ربما كان يتم تمثيل الهضيميتيدات البدائية بطريقة سبقت تمثيل البروتين الريبوسومي حيث سياق الحوامض الامينية مدون

في سياق قاعدي لحامض نوويك • ان الغلوتاثيون وحامض البولي غلوتاميك
(Glutathione, polyglutamic acid)

-L-Glutamyl-L-cysteinylglycine=Glutathione)

٦/ - كما - ايل - غلوتاميك - ايل - سيستينيل - غلايسين) هما هضميتيدان غير
مدوتين^(٤)، مثلما هما الفراميسيدين اس والتيزوسيدين (gramicid S, tyrocidine)
مثلما معقاران ضد الحيوية الميكروية.



الشكل ٢/٢٦ - بنية الفراميسيدين اس.

يتألف الفراميسيدين اس من هضميتيدة عشرية دائرية (cyclic decapeptide) تضم سلسلة مكررة من خمسة حوامض امينية مختلفة تشمل الدي-فينيل ألانين (D-phenyl alanine) والاورثين (ornithine) اللذين لا يتواجد كلاهما في البروتينات. واكتشف ليمان وزملاؤه^(٥) ان كسرين انزيمين متحدين من البسيلاس بريفس (Bacillus brevis) يقومان بتمثيل الهضميتيدة العشرية هذه عند تغذيتهما بالأتب والمغنسيوم ++ (ATP, Mg++) وخمسة حوامض امينية.

يبدو ان الهضميتيدة الخماسية (pentapeptide) تتكون بألية مماثلة للطريقة التي يتم بها تمثيل الحوامض الدهنية • وتمثيل الحوامض الدهنية



(fatty acids) يتم تكثيف واختزال مشبوكات الانزيم المساعدة أستيل -

اس (acetyl-S-coenzyme A complexes) اثناء بقائها مرتبطة بالجهاز المتعدد الانزيم . وقد وجد ليمان انه يتم تمثيل الهضميتيدة الخماسية للگراميسيدين بطريقة مماثلة ، ابتداء بالدي فيل الانين متبوعا على التوالي باضافة البرولين ، والفالين ، والاورثين ، واللوسين ، وينجز تمثيل الغراميسيدين بارفاق سلسلتين في جزيئة الهضميتيدة الخماسية الدائرية . كما تقوم البكتيريا بانتاج التيروسيدين بنفس الطريقة^(٦) . لكن البولي هضميتيدات التي يتم تمثيلها بهذا الاسلوب محدودة الطول ، واطولها هي المضادات للحوية ذوات السلاسل المستقيمة المتألفة من خمسة عشر (١٥) حامضا امينيا .

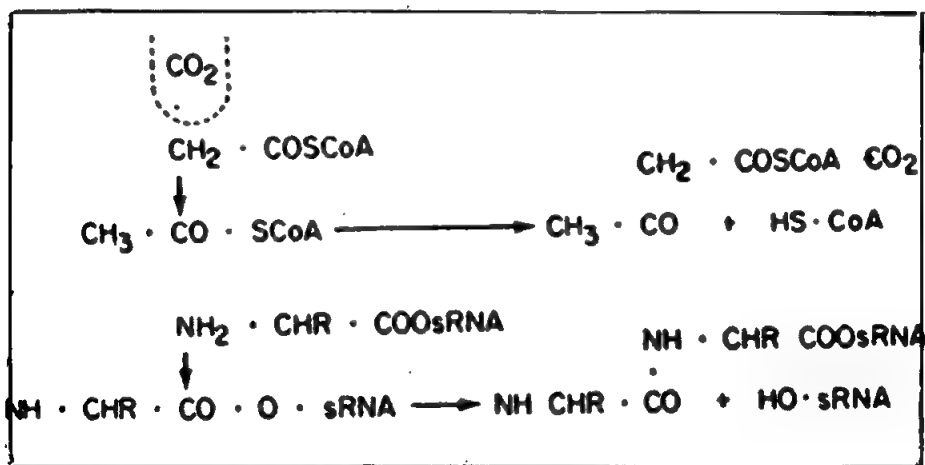
بما ان تمثيل الحوامض الامينية جوهري للغشاء الخلوي فلا بد انه يعود الى أقدم اشكال التمثيل الحيوي لدى الخلايا البدائية . ويقترح ليمان^(٧) أن الشبه بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل العقاقير المضادة للحوية ربما يدل على ان هذه الطريقة أكثر عتاقة من تمثيل البروتينات الزيبوسومي الارتباط .

الا أن انزيمات الكبريهيدريل (sulfhydryl) مجموعة عادية ولا يوجد ما يدل على ان نوعوية الانزيم في ربط الحوامض الامينية بهضميتيدات صغيرة تختلف بأي وجه عن ارفاق مجموعة كيميائية في تمثيل مركبات أخرى . يتم هذا التفاعل بواسطة محفزات بروتينية مشبوكة ولو كان قد سبق الانزيمات الى الظهور فانه كان ليكون لا نوعيا . انما الأكثر احتمالا هو أن هذا التمثيل اللاريبوسومي لا يسبق الانزيمات بل ان البكتيريا طورته لاضفائه فائدة ما بجعل تمثيل العقاقير المضادة للحوية يتم في موقعه في جدار الخلية أو مكان مماثل بواسطة الانزيمات .



بالرجوع خطوة أقدم في الزمن يمكننا المساءلة اذا كان يمكن أن تكون الحياة من لبنات بناءية غير النووتيدات والحوامض .

في بادئ الامر استلزم قيام أقدم الخلايا توفر طريقة للتناسخ الجزيئي لكي تكون حية جينيا. كما استلزم أن يكون الاساس بنية كيميائية تنماسك بوحدات كيميائية أخرى على نحو متسق اثناء تكاثرها لخلق نسخة من ذاتها ، ولزم أن يكون الترابط قويا بما يجعله وظيفيا ولكن ايضا ضعيفا بما يتيح للنسخ أن تنفصل بعد الاتساخ . إضافة الى كل هذا، لكي تعمل المادة الجينية بمثابة المركز المعلوماتي لجميع المكونات الخلوية في متعضية حية أيضا، لزم أن تتألف من عدة وحدات، أي انه توجب عليها أن تضم قطعا معلوماتية عديدة في باطن جزيئة كبرى .



الشكل ٢/٢٦ - مقارنة بين تمثيل الحوامض الدهنية وتمثيل الهضيميتيدة
اللامرؤة .

يتألف أساس المادة الجينية للحياة على الارض من اليورينات والبريميدينات مع ارتباطها الهيدروجينية . لكن هذه الكيمائيات لوحدها تعجز عن اداء جميع المتطلبات نظرا لعدم قدرتها على التكثف مع بعضها البعض لصنع البوليمرات، انما يمكنها التكثف مع السكاكر وهذه يمكن فسفرتها ، فتستطيع وحدات النوتيدة الارتباط في اربطة اسهامية ثنائية الايستر . غير ان ما يثير الاهتمام هو انه حتى بعد كل هذه العملية الشديدة التعقيد لصنع بوليمرات تتضمن قواعد دائرية لا تجانسية ، لا تقوم البولي نووتيدات بصنع النسخ مباشرة بل انها تصنع «السوالب» (negatives) فقط، وهذه تعمل كمرسومة (template) تؤخذ النسخ عنها .

تبدو هذه طريقة معقدة ومتواشجة للغاية ، ولكنها واصلت البقاء وتبنتها الخلايا البدائية لسبب واحد هو انه يمكن نسخ أو نقل بنية البولي نووتيدة ليس فقط الى بولي نووتيدة أخرى وانما يمكن ايضا ترجمتها الى مواد كيميائية من طبيعة مختلفة ووظيفة مختلفة ، أي الى هضميتيدات التي تطورت الى محفزات شديدة القوة .

للهولة الاولى تبدو الحوامض الامينية بأنها الاختيار المنطقي لتكوين الجزيئات المعلوماتية ، فهي متنوعة وتضم مجموعة كربوكسيل وامينية تتيح للوحدات الارتباط ببعضها البعض . غير انه رغم قدرتها على تكوين البوليمرات بطريقة اكثر مباشرة من البيورين والبريميدين، فانها تعجز عن القيام مقام الجزيئات المعلوماتية لتعذر استخراج المعلومات ، ولا تقوم سلاسلها الجانبية بالتفاعل بدقة بالطريقة التي تتسم بها القواعد . وكنتيجة ، لم تصبح عملية نسخ وترجمة البولي هضميتيدات ممكنة لدى المنظومات البيولوجية قط . (ملاحظة: يبدو ان العامل المسبب لداء العصب (scrapie) في الاغنام هو شكل تناسخي بحجم الفيروس يتضمن البروتين ولكن بدون حامض النوويك^(٨)، لا تزال



طريقة تكاثره رهن التحديث ، لكن جيه اس غريفيث^(٩) (J.S. Griffith)
اقترح ان البروتين يعمل كمستضد (antigen) لاذكاء جسم مضاد (antibody)
مطابق له تماما) .

قامت الحياة بطبيعتها الخاصة البيولوجية المتألفة من البيورين
والبريميدين والحوامض الامينية، لأن هذه كانت هي المواد الكيميائية المتوفرة
على الارض ما قبل الحياتية . وتولدت السيانييدات (cyanides) بفعل الطاقة
على الغازات البركانية للارض البدائية، فتكثف سيانيد الامونيوم بوجه رئيس
الى بيورينات وعدد صفوة من الحوامض الامينية الألفاء في الظاهر كان
تكون البريميدينات ابطأ ولكنها كان يتم امتصاصها انتقائيا لتندمج في الاجهزة
الوظيفية . انما الاكثر اعجابا في الامر هو ضالة عدد الكيمياءات التي تكونت
عن عملية التكثف ، وكانت رغم ذلك قواعد كافية لتوليف الخلايا التي أصبحت
اشكال الحياة الذاتية الادامة .

فقط اربعة عناصر، وهي الكربون، والهيدروجين، والنيتروجين،
والاوكسجين، تشكل ثمانى وتسعين بالمائة (٩٨٪) من تركيبة البروتوپلازما،
وباستثناء الهيليوم، هذه هي العناصر الاربعة الاكثر غزارة في الكون، وعليه،
لا يمكن أن تعزى نشأة الحياة الى عناصر نادرة ، ولا تتألف لبنات البناء من
مركبات غير اعتيادية، بل انها تتكون بسرعة وسهولة من تكثيف السيانيد .
ومن بين الستة والثلاثين (٣٦) عنصرا التي تستعملها المتعضيات ، وجد جيه
ايچ ماكليندون (J.H. McClendon) أن تسعة منها فقط جوهرية ، وهي
الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين ، والاوكسجين، والفوسفور ،
والكبريت ، والمغنيسيوم ، والبوتاسيوم، والحديد . أما السبعة والعشرون
الأخرى فليست جوهرية للحياة ولكنها اندمجت فيها لأنها كانت مفيدة وكانت
متوفرة في البيئة بكميات كافية .



كما انه من بين التسعة عناصر الجوهرية المذكورة اربعة منها فقط، هي الكربون ، والهيدروجين، والنيتروجين، والاكسجين، تتميز بمفذاذية فريدة تجعلها لا يمكن الاستغناء عنها لتشييد بنية المنظومة البيولوجية . أما العناصر الخمسة الأخرى، أي الفوسفور ، والكبريت، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والحديد، فإن خواصها الكيميائية في الأحوال الأرضية تجعلها جوهرية لكيميائنا الحياتية المتطورة . إلا ان هذه الخواص لا تقتصر استثنائيا على هذه العناصر فقط وانما تتواجد لعدد ما أيضا في عناصر أخرى منتسبة اليها . فانه من المعقول ، في نباتات كيميائية مختلفة ان تنشأ منظومة بيولوجية حيث يأتي الزرنيخ بديلا للفوسفور ، والسيلينيوم للكبريت ، والمنغنيز للمغنيسيوم، والروبيديوم للبوتاسيوم، والكوبلت او النيكل أو الفناديوم للكبريت .

أما الكربون، فهو عماد الحياة الرئيس، فهو بقدرته العجيبة على الارتباط مع العديد من العناصر بما فيها ذرات الكربون الأخرى، وتشكيل تنوع هائلة من التوليفات ، يعلو على جميع العناصر الأخرى قاطبة بصفته مكون صروح المنظومات البيولوجية . وهو جوهرى يستحيل الاستغناء عنه وشائع بحيث يخال للمرء أن الحياة مبنية على الكربون حتماً ورغم ذلك، يوجد عنصر آخر أيضا كثير الشيوع على الأرض ويملك القدرة على ربط نفسه وعناصر أخرى في سلاسل طويلة وتوليفات مختلفة شتى مثل الكربون الى حد كبير، ، وهذا هو العنصر سيلكون (Silicon) .

بوسع السيليكون ان يكون مركبات سلاسل (س-س) (Si-Si)

لكن هذه أقل استقرارية من نظائرها الكربونية ، اذ تبلغ قوة الرابط كربون-كربون ديناحاريا او ثرموديناميكيا زهاء ضعف قوة الرابط سيلكون - سيلكون. من جهة أخرى يملك السيليكون القوة شديدة للاوكسجين ، وتشكل سلاسل (Si-O-Si-O) المستقرة للغاية الصفائف البلورية للكوارتز



وفلزات أخرى عديدة • يتحد الكربون أيضا مع الاوكسجين بسهولة ، لكن الناتج يختلف تماما • اذ بينما ثاني اوكسيد السيليكون يشكل مكونا للرمل، يشكل ثاني اوكسيد الكربون غازا، وخاصة التطاير في المركبات الكربونية هي التي أفضت الى تركيز الكربون في النطاق المائي والجوي للأرض •

لا يمكن أن يكون السيليكون اساسا صحيحا للمنظومات البيولوجية ابداء، انما توجد فرضية تفيد لربما أن فلزات السيليكون لعبت دورا في نشأة الحياة • يقول أي جي كيرنز سميث (A.G. Cairns-Smith) من جامعة كلاسكو أن باعتقاده أن الخلية الوظيفية كانت لتكون اكثر تعقيدا من أن تلتئم من لبنات البناء ما قبل الحياتية ضمن فترة معقولة من الزمن وفي الظروف العادية ، وي طرح بدلا من ذلك أن الحياة نشأت بواسطة الالتقاء الطبيعي من بلورات لا عضوية •

عندما تتشكل البلورات تظهر العيوب كثيرا في الشبكية وتتنسخ هذه في تبلورات أخرى، وبما ان تناسخ هذه العيوب ذاتي الالتقاء، فانه يمثل تناسخا لا يختلف عن تناسخ الحوامض النووية • وفي الحقيقة بوسع العديد من انواع البلورات ، من حيث المبدأ أن تستوعب قدرا كبيرا من المعلومات، ويمكن أن تكون الكثافة المعلوماتية في بلوريت (crystalite) الصلصال الغرواني مدانية لنظيرتها في الدنا • DNA

يحتاج كيرنز سميث انه كان بإمكان بلورة كجينة بدائية أن تتحكم في تطور الجزيئات الكبرى العضوية من خلال التصاب الجزيئات العضوية بها • كانت نشأة الجينوغرافات (geneographs) البدائية لتتم من خلال التطور الدقيق الالتقائي الذي تضمن خاصية تواصلية لبلوريات الصلصال الذي احتواها، وأخيرا يعتقد أن المتعضية الاولى ظهرت بفعل استحالة جينية



(genetic metamorphosis) فيما تولت الجزيئات الضخمة العضوية بالتدرج آلية التحكم ونبتت البلوريات.

رغم ان الكيمياء التي قامت منها الحياة عادية ، فربما ان ظروف تطور الارض كانت غير عادية للغاية . كان حجم الارض وبعدها عن الشمس ذا خطورة دقيقة، فان الحرارة المتولدة من تفكك العناصر المشعة، بعدم قدرتها على التبدد في الفضاء، هي التي حملت الارض خلال تطور حراري، وبنفس الاثناء محررة المتطائرات من الجوف وخالقة النطاق المائي والنطاق الجوي . وينفرد كوكبنا الارض هذا ، بين جميع الكواكب والنيازك والاقمار ، بكونه الكوكب الوحيد الذي يملك الماء بوفرة.

أما الزهرة، وهي الكوكب الاكثر شبيها بالارض من حيث الحجم والمساحة، فانها احتبست في ظاهرة مستتب اخضر فالتة واضاعت ماءها وكل فرص نشوء حياة افروдитية من جراء اشتداد حرارة سطحها بنسبة عالية . لكن المريخ، مع شواهد على تاريخ بركاني سابق، فيبدو أنه في عصر جليدي، والماء الذي كان مرة يجري على سطحه لا يزال باقيا محتبسا في قبعات قطبية جليدية . وما وراء المريخ والنيازك تدور الكواكب العملاقة ، المشتري، وزحل، واورانوس ، ونبتون . رغم ان هذه الكواكب الخارجية الاربعة اكبر بكثير، فانها تختلف عن الكواكب الارضية او الترابية (terrestrial) بشكل بارز في التركيبة الكيميائية، فهي تتألف تقريبا كليا من الغازات . يتألف المشتري من ثمانين بالمائة (٨٠٪) من الهيدروجين^(١٢)، وزحل من ستين بالمائة (٦٠٪) ، مع تكون البقية تقريبا بالتاكيد من الهليوم، ورغم ان اورانوس ونبتون يتضمنان مقادير من الكربون ، والنيتروجين، والاكسجين، فانهما ايضا يتألفان من الغازات المتجمدة والسائلة.

من الصعب تصور نشوء منظومات بيولوجية في غياب الماء. مع ذلك ربما توجد انحاء في المنظومة الشمسية تتضمن بيئة مائية أو ندية قليلة الشبه بالارض ولكنها ربما اعالت مراحل بدائية من الحياة . يتألف جو المشتري من الميثان، والامونيا، والهيدروجين، وهي الغازات البدائية التي بوسعها أن تفضي الى تكون مواد ما قبل حائية . الا أن هذا الجو ليس متوحدا لا انتشارا وإنما متراكبا في طبقات من التدرج الحراري . توهي الاحتمالات التي أجراها غاليت^(١٣) (Gallet) الى أنه ينبغي أن تتواجد منطقة من عواصف امطار الامونيا تحت سحب بلورات الامونيا المنجمدة ، وتوجد طبقة من الامونيا الغازية تحت نطاق تقطرات الامونيا . وتوجد طبقات أو تشكيلات جليدية بمسافة بضعة كيلومترات الى الاسفل من سحب الامونيا ، يليها ماء سائل وبخار الماء . ويقول كارل ساغان^(١٤) (Carl Sagan) انه يمكن للمركبات العضوية المشتقة من الامونيا والميثان أن تتفاعل في هذه المنطقة لتفضي عن نشوء الجزيئات الاكبر الضرورية للحياة .

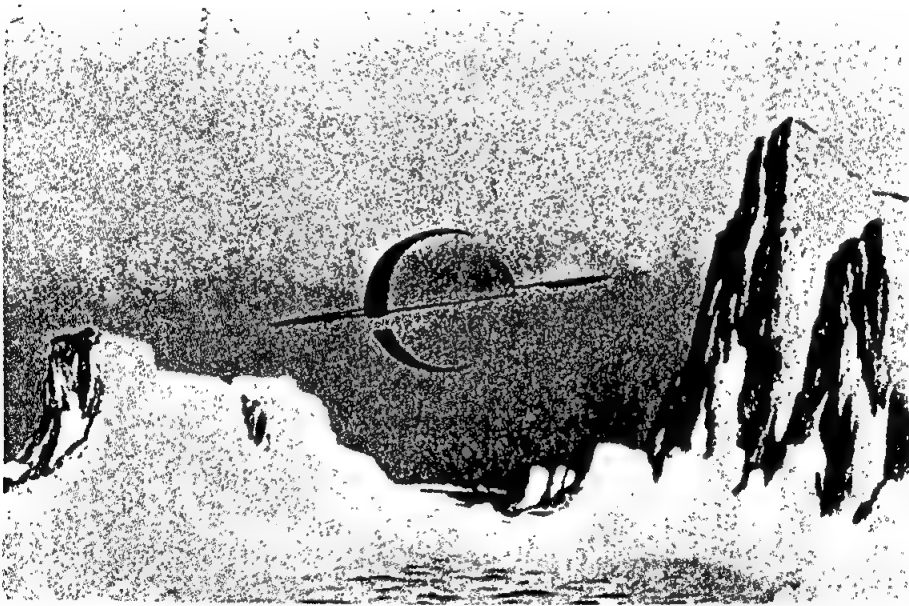
ولاختبار هذه الفرضية قام فريتز وولر (Fritz Woeller) وسيريل بوناامبروما^(١٥) (Cyril Ponnamparuma) في مركز أيميز للبحوث بأجراء التجارب حول التفاعلات في أجواء زحل مفتعلة بطريقة التفريغ الكهربائي . وبالفعل، تضمن الكسر المتطاير من التجربة طلائع العديد من المركبات البيولوجية . لكن بالإضافة الى المتطايرات انتج هذا التفاعل أيضا كسرا لا متطاير يتألف من بوليمرات بروتينية الى حمراء . وحده وولر بوناامبروما ربما ان هذه المادة البوليميرية هي المسؤولة عن لون البقعة الحمراء الكبرى في المشتري . ان أكثرية العوالم الكبرى في منظومتنا الشمسية ليست كواكب، وإنما اقمارا . يوجد ثلاثون قمرا تدور حول المشتري، وزحل، واورانوس، ونبتون؛

بعضها كبير جداً. كما ان رحلات المركبات فوياجر قد أدت الى اكتشاف اقمار عديدة غيرها. ثلاثة من اقمار غاليليو الاربعة التي تدور حول المشتري، وهي اوربا، وغانيميد، وكالستو (Europa, Ganymede, Calisto) تضاهي في الحجم كوكب عطارد (الكوكب الاقرب الى الشمس) ، وكذلك هما قمر زحل التيتان (Titan) وقمر نبتون تريتون (Triton) . ليست هذه كتلا ضخمة من الحطام كفوبوس وديموس (Phobos, Deimos) اللذين يدوران حول المريخ، وانما هي اجسام ضخمة كبرى بحجم قمرنا واكبر، كل منها عالم مختلف في نوعه، وبعضها يملك اجواء رقيقة ، وبعضها مغطى بالجليد . توجد في تلك الاكارع النائية من منظومتنا الشمسية اقمار كلية بكثافة الجليد واقطار بطول اميال عديدة، تدور حول الكواكب ككرات ثلجية ضخمة في الفضاء.

تملك الاقمار الاكبر كثافات منخفضة دلالة على مؤلفات (composites) من مواد صخرية جليدية . ويحدث أن الحرارة من التفسخ الاشعاعي في جوف هذه الاجسام الكبرى أدت الى الذوبان وتسببت في استقرار السيليكات في اللب بمثابة اطياف مرصوفة مدمكة وشكلت قشرة رقيقة من الجليد تعوم على جبة سميكة من الامونيا والماء. يبدو ان بعض الاسطح تتألف كلياً من الجليد بينما ربما يتألف غيرها من خلائط من هيدرات جليدية (ice hydrates) من الامونيا ، والميثان، ومواد مختلفة . تمثل هذه الاقمار طائفة جديدة كلية من العوالم ذوات تركيبات وبنى مختلفة، وتعد بطائفة جديدة كلية من الظواهر.

يدو تيتان، وهو أكبر اقمار زحل، ان له جوا كثيفا نسبيا ، اكتف بعدة اضعاف من جو المريخ، مع سحب حمراء تحجب عادة سطح القمر . وقد اكتشف فيه الميثان ، وربما ان الامونيا موجودة، ايضا، وعلى ما يبدو يوجد

فيه قدر كبير من الهيدروجين. ان أثر الهيدروجين هو انه يخلق ظاهرة المستتب الاخضر التي ترفع درجة الحرارة تقريبا الى مستواها الارضي. فاذا ثبت في النهاية ان المريخ عديم الحياة، فان المكان الآخر ضمن أسرتنا من الكواكب الذي ربما قد تفتق عن الحياة يقع على بعد الف مليون ميل من الارض في قمر زحل المسمى تيتان.



الشكل ٢٦/٤ - زحل، مرئيا من اكبر اقماره ، تيتان ، الذي يبعد عنه سبعمائة وستين الف (٧٦٠٠٠٠) ميل، كما تخيله الفنان تشيزلي بونيسيتيل.

نملك أفكارا عميقة الغور عما هي الحياة وما ينبغي أن تكون، وكل ذلك من مثالننا الذاتي الوحيد . وفيما نجوب ارجاء عوالم أخرى ربما اتنا نعرض انفسنا لعديد من المفاجآت . لقد نشأت الحياة على الارض واتخذت طبيعتها

الخاصة لأنها كانت ممكنة من المواد ما قبل الحياتية التي توفر لها الزمن الكافي لتنظم في منظومة بيولوجية . وبتوفر الزمن الكافي غدا محتما ما كان قبلا ممكنا . والزمن هو المعلم الحدي الذي اتاح للحياة الحصول ، فهو اشبه بكمبيوتر يسمح لجميع الخلائط والتركيبات الممكنة حتى يجد حلا . مع ذلك، مع مواد أخرى وبيئات كيميائية أخرى، تظل امكانية نشوء منظومات بيولوجية مختلفة جذريا قائمة . ربما ان الامونيا السائلة أكثر شيوعا في منظومتنا الشمسية وفي جميع ارجاء الكون أكثر من الماء السائل . فاذا تم تحري جميع امكانات حصول الحياة في الكون، لربما سيكون حصولها في الماء سائداً

بينما يكون الماء سائلا بين درجتي الحرارة صفر الى مائة (°١٠٠-°٠) مئوية ، تكون الامونيا سائلة بين درجتي الحرارة ناقصا ثماني وسبعين الى ناقص ثلاث وثلاثين (°٧٨ الى -°٣٣) مئوية في ضغط جوي قدره جو واحد . يملك الماء توترا سطحيا عاليا يجعله مثاليا لتكون الخلايا ذوات فواصل يينية دهون-ماء . لكن الامونيا اقل دبقا أو لزوجة بكثير ، والمواد القطبية أكثر ذوبانا في الماء مما في الامونيا ، وعلى سبيل المثال ان الكلوريد ، والكبريتات ، والهيدروكسيد ، والاكسيد ، كلها غير قابلة للذوبان في الامونيا .

لكن لما كان مثالنا الفريد المعلوم من الحياة قد نشأ كمنظومة بيولوجية متكيفة لبيئة مائية ، فانه بطبيعة الحال تبدو خواص الماء لنا مثالية الى أقصى الحدود . لكن شكلا من السمك يسبح في بحيرة من الامونيا السائلة بلاشك سيجد عالمنا حارا لا يطاق والخواص الكيميائية للماء نزيعة وكريهة على حد سواء .

نشأ نوعنا الحياتي من المركبات ما قبل الحياتية التي تكونت من الغازات

المبشة بفعل النشاط البركاني . فاذا تعرضت عوالم أخرى ذات تركيبة مختلفة لفعل البراكين ايضا فيمكن ان يختلف جوها الى حد كبير عن جو الارض البدائية . انما هل تكون آنذاك قد تمخضت عن منظومة بيولوجية مختلفة ؟ لربما ان الجواب هو كلاء . ان تجربة ميلر لا تعتمد على التركيبة الكيميائية للغازات بقدر ما تعتمد على العناصر الموجودة . ان جو منقوصا يتضمن الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين ، والاكسجين ، بصرف النظر عن الشكل الكيميائي ، سينتج ، عند تعريضه لطاقة عالية ، نفس لبنات بناء الحياة التي تكونت على الارض البدائية .

ربما تتواجد الحياة في جميع ارجاء الكون في اشكال عديدة مختلفة وفي بيئات متطرفة ، الا أنه يبدو كثير الاحتمال أن يكون اساس الحياة هو نفسه في كل مكان . وهو من هذه الوجهة مزية مفذاذ . ان الحياة هي مجرد شيء يحصل . انها كالتفاعلات الحرارية نووية في نشأة وتطور النجوم . ان الحياة همزة الوصل بين المادة والطاقة تحصل تلقائيا عندما تقع الاحوال ضمن حدود ضيقة ، وتتطور في مراحل . ربما توجد تنوعات عديدة من المادة والطاقة ، لكن كيميائها وفيزياءها في الجوهر يتخذان نفس النمط ، وهذا النمط كوني جامع .

محمدا يوسف الدويش

الفصل السابع والعشرون

المركبات العضوية في الكون

قبل مائة وخمسين عاما بهر فريدرش فوهلر (Friedrich Wöhler) الاسرة العلمية بانتاج اليوريا من سيانات الامونيوم . وفي تجربة بسيطة اثبت بالبرهان على عدم وجود أي حاجز فاصل لا يقحم بين المواد البيولوجية والمركبات اللاعضوية . وبالنتيجة كان كل من فوهلر وميلر (Stanley Miller) قد أورد الادلة الايضاحية الثبوتية على صحة نفس المبدأ، على وجود صلات تبادلية قابلة للتحويل بين الجزيئات البسيطة للاحياء البيولوجية والطبيعة الكيميائية للتركيبية الارضية الجيولوجية . انه لمن غريب الصدف في الواقع أن يكون فوهلر قد درس ايضا ظاهرة قائمة في يومه بقيت بلا حل الى أن جدت التحريات فيها في نفس العام الذي قام ميلر فيه باجراء تجربته .

في عام ١٩٥٣ فيما كان ميلر عاكفا على اجراء تجربته بالتفريغ الكهربائي في جامعة شيكاغو نهض خبير جيولوجي في لندن يستفسر من المتحف البريطاني عن امكانية السماح له بتحليل عينة من مجموعة النيازك المختزنة فيه . لقد كان معلوما منذ ايام برزيليوس وفوهلر ان بعض النيازك تتضمن مواد عضوية . لكن لما كانت المواد العضوية تتأني تقريبا كليا من كائنات حية ، فان فكرة وجودها في النيازك اسفرت عن مدلولات مذهلة فوق العادة لم يقبلها العقل . كما انه من البداية كانت النيازك محطا لمشاكل التصديق .

في الاقل منذ فجر التاريخ والحكايات والاساطير الشعبية تتداول حول أحجار ، وحتى كتل من الحديد ، تتساقط احيانا على الارض . لكن عصر العقلانية خلق تشكيكا اعتبر معه هذا الامر مستحيلا . وعندما سقط حجر



في بلدة لوسيه بفرنسا في عام ١٧٦٨ شكلت لجنة برئاسة الكيميائي الفرنسي
انطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier) للتحقيق في الامر، وكان قرار اللجنة
الختامي ان النيزك كان صخرة ارضية . وقعت ثلاثة تساقطات أخرى في اوربا
في السنوات التسعينية من القرن الثامن عشر (١٧٩٠) تم الاحتفاظ بعينات
منها لكن الرأي العلمي بقي متصلبا في موقفه، ولم تعترف اكااديمية العلوم
الملكية في باريس بإمكانية سقوط احجار من السماء الى أن تمطرت آلاف
منها على مدينة ليفل (l'Aigle) بفرنسا في ظاهرة عجيبة وقعت في ٢٦ نيسان
١٨٠٣ .

تصنف النيازك في ثلاث فئات رئيسة ، حداثد ، واحجار ، وحداثد
حجرية، ويجري تقسيم كل من هذه في صنف فرعية بحسب التركيبة، ويوجد
اتساق ملحوظ بين هذه الصنف من حيث محتوياتها من العناصر والفلات،
مع تشعب بارز بين الفئات . جميع المقومات الفلزية الرئيسة تأتي بنفس صفة
الفلات الارضية ، وغزارة تواجد العناصر في النيازك تتطابق بانتظام مع تلك
المعلومة عن الارض . جميع المقومات الفلزية الرئيسة تقع على غرار الفلات
الارضية ونسب كثرة تواجد العناصر في هذه النيازك ايضا تتطابق بانتظام
مع ما هو معلوم للارض .

بما ان النيازك تنزع الى التعرية بسرعة ولأنها صعبة التمييز عن الصخور
العادية، فإن ما هو موجود في المتاحف هو النيازك من فئة الحداثد بأسطحها
المجزعة الممرقة وقد وجد من تجميعه للنيازك تمت سريعا بعد سقطة منها أن
نسبة (٩٤٪) منها كانت احجارا . ومن بين الاحجار ظهر ان ثمانين بالمائة
(٨٠٪) كانت من الغضروفيت او الكوندرت (chondrites) متميزا بحبيبات
مستديرة من الانستاتيت (enstatite) من فصيلة البيروكسين (pyroxene)

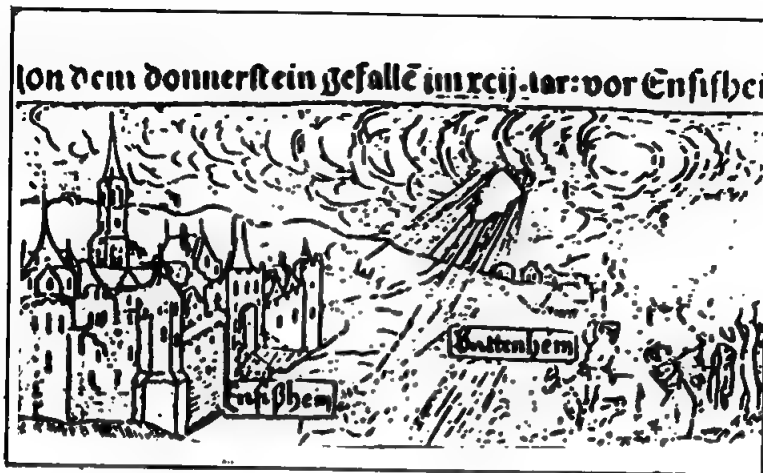
أو من الكريزوليت chrysolite، من فصيلة الزبرجد أو الياقوت الاصفر ومنه الاوليفين (olivine) مفترزة في كتلة من الحجر النيزكي. كما توجد بين النيازك الحجرية مجموعة صغيرة تسمى بالعضروفيت الكربوني (carbonaceous chondrite) . ورغم ان على الاقل اثنين بالمائة (٢٪) من جميع النيازك تقع في هذه المجموعة، وهي هشة وتتهشم بسرعة بالتعرية، فانها صعبة التمييز الا اذا وجدت بعد سقوطها بقليل . وقد اعطيت هذه النيازك اسمها هذا نظرا لاحتوائها نسبة خمسة بالمائة (٥٪) من الكربون العضوي. يوجد واحد وعشرون (٢١) كوندريت او عضروفيت كربوني معروفا، وجميعها كان قد تم تجميعها بعد ملاحظة سقوطها بقليل . حاول كل من برزيلوس وفوهرل تحليل المادة العضوية في النيازك الكربونية لكنه ظهران الكربون بشكل بوليمر لا يقبل الذوبان، وبدون تشخيص اية مركبات عضوية، كلاهما خلص الى القول ان المادة العضوية لم تكن من اصل بيولوجي.

في الرابع عشر من ايار ١٨٦٤ مر نيزك ملتهب فوق جنوب فرنسا وسقط قرب قرية اورغيل تناثرت احجاره على منطقة تبلغ مساحتها ميلين مربعين. تم تجميع عشرين (٢٠) شظية منها أغلبها بحجم جمع اليد عدا واحدة كانت بحجم رأس رجل، وبلغ مجموع وزنها (١١٥٢٣) كيلوغراما.

قام أس كلوز^(٣) (S. Cloëz) بفحص نيزك اورغيل ثم قام من بعده بير برتيلو^(٤) (Pierre Berthelot) بعزل مواد عضوية منه قال انها مادة تشبه الفحم ولكنه لم يتمكن من التثبت منها بالتعيين، فقد كانت الاساليب الكيميائية قبل قرن مضى لا تعطي اكثر من معلومات محدودة عن طبيعة وكميات مثل هذه المواد العسيرة التعيين، وانتظر حل لغز المواد العضوية في النيازك حتى



تحقيق التطورات الاخيرة في الاساليب التحليلية للمواد الجيوكيميائية (أي كيمياء الارض).



الشكل ١/٢٧ - سقوط نيزك انسيسهايم في الزاس في ١٤٩٢.

استمر الاهتمام في زفت (bitumen) النيازك طوال الفترة من ١٨٣٤ وحتى ١٨٨٥، لكن تبعها فترة امدها ثمان وستون (٦٨) سنة يظهر ان الكيميائيين كفوا خلالها عن اعارة هذا الموضوع مزيدا من الاهتمام، وأخيرا، في عام ١٩٥٣، قرر جورج مولر^(٥) (George Mueller) من جامعة لندن تناول الموضوع بالدراسة، قام المتحف البريطاني الذي ضم كل مجموعة العشرين نوعا من النيازك الكربونية المعروفة آنذاك بتقديم عينة وزنها عشرين (٢٠) غراما من نيزك كولد بيكفيلد (Cold Bekkeveld) الذي كان قد سقط في اتحاد جنوب افريقيا في عام ١٨٣٨.

حاول مولر في أول الامر اذابة السيليكات بالحامض ليتمكن من عزل المادة العضوية . استغرقت العملية اسابيع عديدة وكانت أصعب الى حد كبير

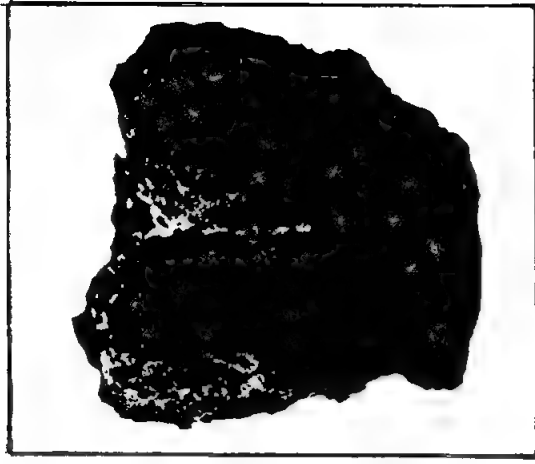


من استخراج هذه المادة من حجر السجيل (shale) ووجد مولر ان واحدا بالمائة (١٪) من المادة العضوية الممكنة الاستخراج تألفت بشكل رئيس من الكربون ، والهيدروجين ، والنيتروجين، والاكسجين ، وايضا الكبريت والكلوريد . كانت درجة حرارة تفسخها منخفضة ، وتعذر اكتشاف أي نشاط بصري في مستخرج بنزيني (benzene) منها، ملفيا بذلك احتمال كونها من أصل بيولوجي . لكن بما ان المادة كانت قابلة للذوبان في القلي (alkali) خلص مولر الى ان المادة مترتبة من حوامض عضوية معقدة مع بعض مركبات الكلوريد العضوية، الا أنه لم يتمكن من تشخيص اية بنى كيميائية معينة.

أدلى مولر بالرأي ان لابد ان المادة العضوية كانت قد نشأت في جو متباين الاضاءة والحرارة ليتسنى تبلر جزئيات معقدة ، ونظرا لتناهي صعوبة اذابة السيليكات ، أفاد مولر أنه لربما ان هذه المادة العضوية كانت قد تكثفت على جسيمات غبارية استقرت وتلززت على جسم فضائي صغير نسبيا . لم تتعرض هذه المادة العضوية في أي زمن أثناء أو بعد تكونها لدرجات حرارة تتجاوز (٢٠٠-٣٠٠) مئوية ، على نقيض نيازك الحديد والحديد الحجري التي كانت قد تعرضت لدرجات حرارة تفوق الالف (١٠٠٠)° في زمن ما من تاريخها .

في عام ١٩٦٠ اقترح برايان ميسون^(٩) (Brian Mason) من المتحف الامريكي للتاريخ الطبيعي بنيويورك ان المواد الاولية لجميع النيازك كانت سيليكات موهة او مهيدة (hydrated silicates) مغطاة بطبقة كاربونية متبلرة ، وقام بارسال عينة من نيزك اورغيل الى الكيميائيين بمختبر شركة ايسو للبترول بنيوجرسي لغرض الحصول على معلومات اكثر دقة عن المواد العضوية في هذا النيزك .





الشكل ٢/٢ - نيزك اورغيل

قام بي ناجي (B. Nagy) ، ودبليو جي مايتشان (W.G. Meischein) ودي جيه هينسي^(٧) (D.J. Hennessy) بتحليل الجزء العضوي من نيزك اورغيل بالمطيافية الكتلية (Mass Spectroscopy) ، ووجدوا حشداً من الهيدروكربونات (hydrocarbons) ، كانت اكبر هيدروكربونة رباعية الدورة (tetracyclic) بلغ وزنها الجزيئي (٤٢٨) ، لكن الاكثر اعجاباً كان مسلسل من عياري البرافين (n-paraffin) امتد حتى (C₂₆) وتضاءل عند (C₁₈) عند مقارنة طيف قطارة (distillate) النيزك بالاطياف الكتلية للزبدة ورواسب حديثة العهد ، رأوا تشابهاً كبيراً بينها . ومن هذا خلصوا الى القول ان المادة العضوية من النيزك كانت من مصدر حيوي .

بنفس تلك السنة قام ناجي وجورج كلاوس^(٨) (George Claus) من المركز الطبي بنيويورك بفحص ستة نيازك كربونية لتحديد تفاصيلها المجهرية . تم سحق النماذج في الماء أو الغليسرين على شرائح زجاجية وجرت دراستها تحت المجهر . في نيزكين اثنين وجدا «عناصر منتظمة» جيدة الوضوح لم تكن

شكلياتها (morphology) مماثلة لأي عنصر معلوم ولكنها تضمنت بعض الشبه ببعض أنواع الطحالب . ولما كانت نماذج من نيزك اورغيل الذي سقط في فرنسا المكذلة الطقس ، ونيزك من ايفونا (Ivuna) الذي سقط بعد الاول بأربع وسبعين (٧٤) سنة في منطقة مدارية قاحلة من اواسط افريقيا تضمنت « عناصر منتظمة » متشابهة الشكلية ، أبدى كل من ناجي وجورج كلاوس ان احتمالية عزو الجسيمات الى التلوث الارضي لم تكن واردة . وبالنتيجة كان تفسيرهما لتلك البنى كأحافير مجهرية محتملة ارمية للنيازك ذاتها ، وعليه ، كبقايا حياة خارج الارضية .

غني عن القول ان هذا خلق ضجة وركز الاهتمام بالنيازك . ثم أبان ادوارد آندرز^(٩) (Edward Anders) وهو كيميائي من معهد انريكو فرمي (Enrico Fermi) بجامعة شيكاغو انه يتم عادة تأشير عينات المتاحف بالاصباغ أو البطاقات المصنفة أو الاقلام الشمعية ، وانه لما كانت تركيزات الهيدروكربونات الموجودة تقع ما بين (١٠) و(١٠٠) ميكروغرام، فان احتمالية عائدتها الى تلوث ارضي كانت عالية . لكن موضع التحديس المبالغ فيه لم تكن النتائج ذاتها وانما الاستنتاج الذي عزا المادة العضوية الى حياة خارج ارضية .

لكن الجدل في الاقل وجه الاهتمام الى مسألة المادة العضوية في النيازك ووسع رقعة التحريات . قامت مختبرات أخرى بتحليل مستخرجات من الكوندريتات أو الغضروفيتات الكربونية ووجدت ارجحية غالبية للهيدروكربونات العطرية على الالفاتية . ثم أعلن مايكل بريكرز وجي ماميكونيان^(١٠) (Michael Briggs, G. Mamikunian) انها وجدا أن خمسين الى تسعين بالمائة (٥٠-٩٠٪) من المادة كانت بوليمرا عطريا . كما قام مارتن



ستودير (Martin Studier) من مختبر آرغون الوطني وريويجي هاياتسو (Ryoichi Hayatsu) واندروز^(١١) (Anders) بجامعة شيكاغو بتحليل شظايا من نيازك اورغيل، وماراي، وكولد بوكفيلد وتمكنوا من تشخيص البنزين، والتولوين، والنفتالين، والانثراسين (anthracene)، والسترات حامض الكبريتونيك او السلفونيك (sulfonic acid)، والهيدروكربونات الكلورية (chlorinated hydrocarbons) في الكسر العضوي. كما وجدوا ايضا الغازات H_2 و CO و CO_2 و NO و N_2 و SO_2 و CS_2 والميثان والايثان، ومتاعلات أعلى. ألا أن هؤلاء الكيميائيين لم يجدوا ما يبرر الى عزو المادة العضوية الى أصل بيولوجي.

طرح اندروز^(١٢) أن النيازك كانت قد جاءت من نجيمات صغيرة لا يتجاوز قطر الواحد منها بضعة كيلومترات في الطول كانت قد تحطمت، انما لكي يكون تركيز المادة العضوية قد تكون من تفاعل من صنف تفاعل تجربة ميلر يحتم كون اجواء النجيمات كثيفة الى حد المستحيل^(١٣). انما بالأحرى، قد تم التدليل على أن توزيع الهيدروكربونات العطرية والاليفاتية يقع في تطابق وثيق مع احتسابات دايهوف وزملائها^(١٤) للتوازن الدينامي الحراري للمركبات المتولدة في خليط من الكربون، والهيدروجين، والاكسجين، والنيتروجين بدرجة حرارة خمسمائة كلفن (Kelvin, $K = 500^\circ K$)، ومعنى ذلك، أن هذه المادة العضوية كانت قد تكونت وتواجدت في السديم الشمسي حتى ما قبل مجيء الارض الى الوجود.

كشفت دراسة النيازك للعلماء، أن المكونات لتوليد مواد عضوية ليست شواذا في الكون. كان معلوما منذ عام ١٩٤٠ أن التحليل الطيفي للضوء من المذنبات اشار الى جذور CH و CN (CH, CN radicals)، ومع تطور

الفلك الاشعاعي (radio astronomy) وجه الفلكيون هواياتهم نحو المجرة وما وراءها واكتشفوا سحباً هائلة من جزيئات معقدة نسبياً في الكون . وفي عام ١٩٦٨، اكتشف أي سي تشيونك وآخرون^(١٥) (A.C. Cheung) ابتثاثات امواج مجهرية (microwave emissions) من سحب الامونيا على مقربة من مركز المجرة ، في عملية مسح قام بها في مختبر الفلك الاشعاعي في بركلي مستخدماً مكشافاً اشعاعياً طول قطره عشرين قدماً (٢٠) . وفي السنة التالية اكتشفت مجموعة بركلي^(١٦)، وايضا لويس سنايدر (Lewis Snyder) وديفيد بوهل^(١٧) (David Buhl) بواسطة مكشاف اشعاعي (radio telescope) طول قطره مائة واربعين (١٤٠) قدماً يقع في غرين بنك بفرجينيا الغربية ، اكتشفت الماء . كما قد تم الاعلان عن اكتشاف اول اوكسيد الكربون^(١٨)، وسيافيد الهيدروجين^(١٩) والنورمالديهايد^(٢٠)، والسيانواثيلين^(٢١)، وانواع جزيئية^(٢٢) أخرى منذ ذلك الحين . ان كثافات هذه الجزيئات في الفضاء ضئيلة ، مثل كثافة الهيدروجين ، ولكن الكميات المطلقة تقع حرفياً في نطاق الارقام الفلكية .

لم يكن صعباً قبول ان الهيدروكربونات العطرية والاليفاتية (aromatic and aliphatic) المتلمصة ، أو العسيرة التتبع ، من النيازك كانت قد نشأت من توازن ديناحراري للغازات في السديم الشمسي (solar nebula) لكن كون «العناصر المنتظمة» كما قال ناجي وكلاوس ، بقايا حياة خارج أرضية كان نوعاً أكثر صعوبة . قامت الجماعة في جامعة شيكاغو^(٢٣) بفحص نيازك اورغيل وايفونا ولكنها أخفقت في اكتشاف اية « عناصر منتظمة » رغم انها وجدت حبيبات فلزية كبريتية شديدة الشبه . لكن مايكل بريكنز وجي باري كيتو^(٢٤) (G. Barrie Kitto) من جامعة فكتوريا بنيوزيلندا اعلنا عن اكتشاف بنى مجهرية عضوية معقدة في نيزك موكونيا



(Mokoia)، إلا انها اعتبرا احتمال كون الجسيمات حيوية النشأة غير وارد، عقب ناجي وكلاوس وهينسي^(٢٥) في مقالة أخرى حول العناصر المنتظمة لكن تم الرد عليهم في تحقيق تفصيلي قام به فيج وأندرز (Fitch) في عام ١٩٦٣. ويبدو ان الاجماع الختامي قبل بوجود اصناف عديدة من البنى المجهرية تتطابق كتلوثات ارضية او فلزات مبتناة او مواد عضوية مبتناة ولكنها لم تشر الى كونها من حياة خارج ارضية ابداء.

الجدول ١/٢٧ - الجزيئات المكتشفة في الوسط ما بين النجوم

Table 27.1. Molecules found in the interstellar medium.

Year	Molecule	Symbol	Wavelength	Telescope	Initial discovery
1937		CH	4300A	Mt Wilson	Dunham
1940	Cyanogen	CN	3875 A	100 inch	Mt Wilson
				Mt Wilson	
				100 inch	
1941		CH	3745-4233 A	Mt Wilson	Adams
				100 inch	
1963	Hydroxyl	OH	18, 6.3, 5.0, and 2.2 cm	Lincoln Lab	Berkeley
				84 foot	
1968	Ammonia	NH ₃	1.3 cm	Hat Creek	University of
				20 foot	
1968	Water	H ₂ O	1.4 cm	Hat Creek	Virginia, NRAO,
				20 foot	
1969	Formaldehyde	H ₂ CO	6.2, 2.1 and 1cm; 2.1 and 2.0 mm	NRAO 140 foot	University of Maryland and
				NRAO 36 foot	University of Chicago
1970	Carbon monoxide	CO	2.6 mm	NRAO	Bell Labs
				36 foot	
1970	Cyanogen	CN	2.6 mm	NRAO	Bell Labs
				36 foot	
1970	Hydrogen	H ₂	1100 A	UV rocket camera	NRL

1970	Hydrogen cyanide	HC N	3.4 mm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO
1970	X-ogen	?	3.4 mm	NRAO 36 foot	NRAO and University of Virginia
1970	Cyano-acetylene	HC_3N	3.3 cm	NRAO 140 foot	NRAO
1970	Methyl alcohol	CH_3OH	36 and 1 cm; 3 mm	NRAO 140 foot	Harvard University
1970	Formic acid	CHOOH	18 cm	NRAO 140 foot	University of Maryland and Harvard University
1971	Carbon monosulphide	CS	2.0 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
1971	Formamide	NH_2CHO	6.5 cm	NRAO 140 foot	University of Illinois
1971	Silicon oxide	SiO	2.3 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
1971	Carbonyl sulphide	OCS	2.7 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
1971	Acetonitrile	CH_3CN	2.7 mm	NRAO 36 foot	Bell Labs and Columbia University
1971	Isocyanic acid	HNCO	3.4 mm; 1.4 cm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO
1971	Hydrogen iso-cyanide	HNC	3.3 mm	NRAO 36 foot	University of Virginia and NRAO
1971	Methyl-acetylene	$\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$		NRAO 36 foot	University of Virginia NRAO
1971	Acetaldehyde	CH_3CHO	28 cm	NRAO	Harvard University
1971	Thioformaldehyde	H_2CS	9.5 cm	Parkes 210 foot	CSIRO, Australia

Source: David Buhl, Chemical constituents of interstellar clouds, Nature 234, 332-334 (1971). 1971 Macmillan Journals Limited.

المصدر : ديفيد بوهل : المقومات الكيميائية في السحب ما بين الانجم، مجلة :
الطبيعة، عدد ٢٣٤ ص ٣٣٢-٣٣٤ (١٩٧١).

الا انه لم يلبث ان اختتم هذا الجدل حتى اندلع جدال آخر حول صحة
مركبات عضوية أخرى مكتشفة في الكوندريتات الكربونية . وكانت هذه
حوامض امينية.

في عام ١٩٦٢ اكتشف اي تي ديجنز (E.T. Degens) وأم باجور (٣٧)
(M. Bajor) من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وجود حوامض امينية
وسكاكر في مستخرج من نيزكي فاراي وبرودرهام يتألف من ثمانين
بالمائة (٨٠٪) من الايثانول (ethanol) . وفي السنة التالية ظهرت مقالة
تفصيلية بقلم أي آر كابلان (I.R. Kaplan) ، وديجنز، وجيه ايج رويتر (٢٨)
(J.H. Reuter) تحمل نتائج ثمانية من الكوندريتات الكربونية وخمسة نيازك
لا كربونية . وجدت الحوامض الامينية والسكاكر في جميعها . كانت
السكاكر من صنف المانوز والغلوكوز (Maunose, glucose) وبتريكات
(٢٦-٥٠) ميكروغراما بالغرام، وسبعة عشر (١٧) حامضا امينيا بمقادير (٣٠-
٥٠٠) ميكروغرام بالغرام في النيازك الكربونية ، وبتريكات (٨-٥٠)
ميكروغراما بالغرام في النيازك اللاكربونية . لكن لما كانت المادة العضوية
ينقصها النشاط البصري، وايضا الصبغات ، والحوامض الدهنية وعلى ما يظهر
حوامض النوويك كذلك، ارتأى اصحاب المقالة ان السكاكر والحوامض
الامينية كانت من اصل كيميائي وليس بيولوجي.

كانت كميات الحوامض الامينية في حدود (١٠^{-٦} الى ١٠^{-٨}) مولة

- بالغرام. لكن البيوكيميائيين الذين يقومون بتسجيل صبغوغرامات او كروماتوغرامات ورقية (paper chromatograms) لاستبيان الحوامض الامينية برش النهدرين (ninhydrin) ان هذا الاسلوب حساس بحيث يعطي نتائج اختبار موجبة للحوامض الامينية من طبقات الاصابع اذا لم يتخذ الحذر اللازم. قام بول هاملتون^(٢٩) (Paul Hamilton) من معهد دوبون في ويلمنجتون بدلاوير باجراء دراسة اسلوية تفصيلية لمقادير الحوامض الامينية التي يمكن أن تنشأ من المناولة (handling) • جرى كبس طبعة مفردة من ابهام جاف من أيد مفسولة قبل ساعتين على باطن جدار قده جاف، ثم غسلت الطبعة الى باطن القدح، وبعد تبخير الماء اخضعت الفضلة الجافة لعملية الكروماتوغراف على عمود تبادل الايونات بالطريقة المعتادة • فكانت النتيجة اكتشاف سبعة عشر حامضا امينيا بحدود (١٠×٥^{-٩} الى ٢×٦^{-١٠}) مولة • كان السيرين بأكبر مقدار وتبعه الغلايسين • قام خوان اورو وايج بي سكيوز^(٣٠) ايضا بتحليل الحوامض الامينية من طبعات الاصابع وقارنا النتائج بتلك المأخوذة من النيازك. كانت المقادير بنفس الحدود، كما كانت نسب ازواج الحوامض الامينية سيرين ، ثريونين ، وغلايكول آلانين، وسيرين آلانين متطابقة الى حد كبير.

لما كانت الاحجار قد تبادلتها الايدي واخترنت في المتاحف ، فقد نشأت شكوك خطيرة حول صحة تواجد الحوامض الامينية في النيازك. مع ذلك، لم يختتم الجدل هناك. كان الباحثون الذين اعلنوا عن الاكتشافات على علم بالمشاق الداخلة في تحليلات مواد منخفضة المستويات وكانوا على ثقة من أساليبهم • استلزم الامر الآن شواهد جديدة لا تتقبل الارتياح من تعرضها للتلوث الارضي لحسم المسألة اما ايجابا او سلبا.

وجاءت الفرصة من السماء في الساعة الحادية عشرة صباحا في ٢٨ ايلول



١٩٦٩ حين سقط كوندريت كاربوني جديد قرب مرجيسون بفكتوريا
أستراليا . تكسر الساقط الاصلي اثناء الهبوط ونثر شظايا عديدة في منطقة
مساحتها خمسة اميال مربعة . تم جمع العينات بعد السقوط بقليل وجرى
تحليلها مشتركا من قبل علماء ناسا (NASA) في مركز ايميز للبحوث
بكاليفونيا ، ومن قبل ايزاك كابلان في بركلي، ومن قبل كارلتون مور
(Carlton Moore) من جامعة اريزونا الحكومية^(٢١).

تضمن فيزك مرجيسون اثنين بالمائة (٢٪) بالوزن من الكاربون و(١٦.٠٪)
من النيتروجين . وعندما جرت حلقة عينة بوزن عشرة غرامات بحامض
الهيدروكلوريك وتحليلها بعملية الكروماتوغرافيا ، كانت النتائج حصول ذري
من الغلايسين ، والالانين والغالين والبرولين وحامض الغلوتاميك . اضافة
الى هذه الحوامض الامينية العادية في البروتينات ، وجد ثنائي مثيل الانين
(2-methylalanine) وساركوسين (sarcosine) غير الموجودين اعتياديا في
المنظومات البيولوجية . كانت المادة في هذا التحليل كافية لقياس الايسومرات
البصرية ، وتبين ان كلا الشكلين دي وايل (D and L) كانا موجودين تقريبا
بنسب متساوية . ان المتعضيات الارضية تستخدم تقريبا بلا استثناء الايسومر
(L) . اثبتت النتائج بوضوح أن الحوامض الامينية في النيازك لم تكن
ناشئة عن التلوث وانها بكل وضوح من اصل لا حياتي . تبع هذا تقرير^(٢٢)
ثان يشخص احد عشر حامضا امينيا (١١) في هذا النيزك . تضمن نيزك
مرجيسون ما مجموعه (٢×١٠^{-٣}) مولة من الحوامض الامينية بالفراغ ، وهو
مقدار أعلى مما يقع في العديد من الرمال الصحراوية.

ان انعدام النشاط البصري في الحوامض الامينية القديمة للغاية لا يلغي
احتمال كونها من ذوات شكل ايسومري واحد فقط في زمن ماء . ليست
الايسومرية التجسمية للحوامض الامينية مستقرة مطلقا ، وتترسم ايسومرات



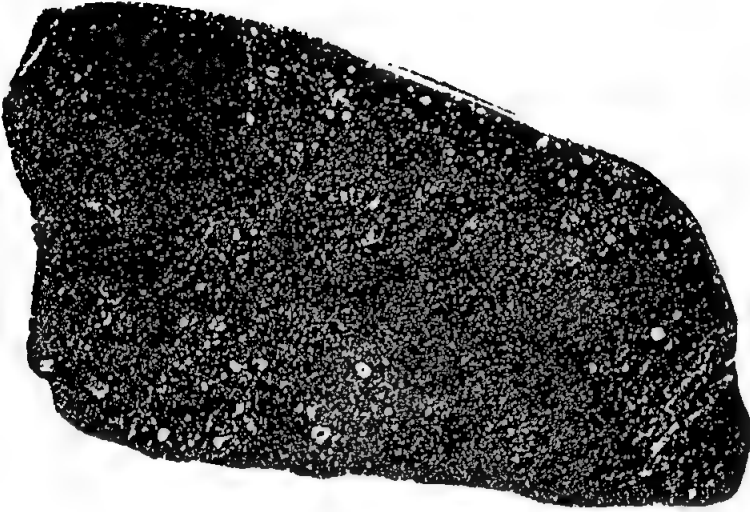
الحوامض الامينية في النهاية بوتيرة تعتمد على درجة الحرارة^(٣٣)، وهي خاصة تم تطويرها كوسيلة لتأريخ العينات العتيقة . في درجة حرارة صفر مئوية (°٥٠) تملك ايسومرات الايسولوسين والالانين انصاف اعمار في التحول الى خليط متناصف (أي ٥٠-٥٠) قدرها (٤ر٤) و (١ر١) مليون سنة على التوالي، بينما في درجة حرارة (°٢٥) مئوية يبلغ نصف عمرهما (٣٥٠٠٠) سنة و(١١٠٠٠) سنة.

النيازك هي اقدم الصخور المعروفة . وقد تم تأريخها بعمر اربعة آلاف وستمائة (٤٦٠٠) مليون سنة وتعتبر قديمة قدم المنظومة الشمسية نفسها . وهذا يترك مسألة الحوامض الامينية في النيازك للمسألة . هل تولدت في تفاعل من صنف تجربة ميلر في السديم الشمسي أم هل انها قد نشأت بكيفية ما أخرى؟ لا يستبعد انها تأتت من مصدر آخر غير منظور . عند تحليل الصخور المستجلبه من القمر في مركبات ابولو لاكتشاف تواجد الحوامض الامينية فيها كانت النتائج الاولى ، لدهشة العديد من العلماء، سالبة . لكن هذه التحليلات كانت قد أجريت على مستخرجات مائية بسيطة من العينات . وعندما ظهر انه لا توجد اية حوامض امينية في المستخرجات ، جرى اخضاع المواد المستخرجة للحلمأة بالطريقة المعتادة للبروتينات ، ثم تم تحليلها . وفي هذا التحليل تم اكتشاف ستة حوامض امينية هي الغلايسين، والالانين، وحامض الاسبرتيك، وحامض الغلوتاميك ، والسيرين ، والثريونين . كانت مقاديرها ضئيلة (٧ الى ٤٥) نانوغراما بالغرام الواحد^(٣٤) .

لماذا اذن ظهرت الحوامض الامينية بعد الحلمأة فقط . على ما يظهر ان الحوامض الامينية لا تتواجد على القمر في غياب الماء، ولكن طلائعها موجودة، وعملية الحلمأة حولت هذه الطلائع الى حوامض امينية طليقة . لا يعلم شيء عن الطبيعة الكيميائية لهذه الطلائع ، وانما يحبس ربما انها سيانيدات



(cyanides) ، أي سيانيدات كانت قد تتجت عن القصف المستديم على سطح
من نوى الكربون والنيتروجين المتأتية من الرياح الشمسية.



الشكل ٢٧/٣ - نيزك مرجيسون .



الفصل الثامن والعشرون

الارض ، ام الجابرة

بدأت الحياة قبل زهاء اربعة آلاف مليون سنة في ما يبدو كان وسطا غريبا ونزيعا، ومع بداية الحياة ابتدأت مسيرة التطور البيولوجي . ظهرت، على امتداد رحبة الزمن الفسيحة الى ما يفوق المعقول ، اجيال عديدة لا تحصى ، تكونت واندثرت في وجود لا عقلي، مغيّرة الطبيعة الكيميائية للارض وهي تغير نفسها باطراد على سلم التطور ، وارتقت، عتبة معينة، من الميكروبة الى الانسان . لكن النتيجة الأكثر عجا في السيرة كلها هي درايتنا بها.

فبالتالي ، ما نحن سوى مواد كيميائية التأمت معا في منظومة تناسخية ذاتية الادامة تطورت على مر الدهور واجتازت الى نور الوعي . ومضى الوعي حتى بلغ الادراك الذاتي وهي حالة يتسع لنا معها، كمنتجات السيرة ، ان نلتفت الى الماضي وتبصر في اعماق الزمن لتري وتتمثل أحوال بدايتنا ذاتها.

وليس وليد المصادفة أن يكون هذا شأننا . فقد خلق ادراك الذات البشري طموحا لمعرفة العالم وتغييره لاشباع رغباتنا . انها عملية الاغتذاء الارتجاعي، كالتحفيز الذاتي لدى الخلية البيولوجية المنبثقة التي وضعتها المنظومة منفردة عن الوسط المحيط بها . لقد فصم الادراك الذاتي اعتماد الانسان الكلي على صروف البيئة وجعل الجنس البشري مرحلة متميزة في ركب التطور.

بسبب قدرتنا على رؤية انفسنا في المحيط المادي، اعملنا في الارض مالم



يعمله أي نوع حي آخره . اتنا نستطيع تأمل اشكال الحياة المختلفة ، الماضية والحاضرة ، ونرى منزلتها في الشبكة المتراسة لصرح الطبيعة . لكن الانسان التكنولوجي كسر القيود التي تربط الخلائق الأخرى في معتقل البيئي ، وبدلاً من الانصياع في بوتقة البيئة الحيوية وفق النظرية الداروينية للاتقاء الطبيعي ، انجزنا الوسيلة لسبك الطبيعة وفق قالبنا . وكلما تقدم الانسان في التكنولوجيا يبدو أن وجوده يتخذ معنى يتجاوز النطاق الارضي الى الكوني ، ذلك لأنه هو لوحده بين الاحياء قد تمكن من الاعتناق عن احضان الارض . فقد منحنا منجزاتنا التكنولوجية الوسيلة لتوسيع بقعتنا البيئية الحيوية الى ما وراء كوكب الارض في أعماق المجموعة الشمسية . يقع المريخ على بعد ستين مليون ميل ، والمسافة الى اقمار المشتري ستمائة مليون ميل ، والى زحل الف مليون ميل . ويبقى اورانوس ونبوتون وبلوتو . لكن هناك تقع نهاية منظومتنا الشمسية ، ووراءها يمتد فضاء واسع مترام يستغرق ضوء أقرب النجوم سنينا عديدة لقطعه . لكن الميكروبة التي كابدت وصارعت عبر ثلاثة آلاف وخمسمائة مليون سنة من التطور لتصبح الانسان ، تمد انظارها الى المائة الف مليون نجم في المجرة لتكتشف انها ما ان تمنعق من قطيرة كونية حتى تجد نفسها في أخرى .

مع ذلك ، نعلم ان الميكروبة تعيش بانعزال اعمى في كون مجهري ليس سوى جزء من بعد هائل شاسع ، ونعلم ان الحيوانات ذوات الطبيعة الابطس من الانسان تعيش على هامش حقيقة مادية ذات عمق وتعقيد ابعد من متناول قدرتها الادراكية بأشواط عديدة . فما هو اذن موقع الانسان؟ وهل نحن ايضا نقع على حافة حقيقة تستد في مهامه وجود اعماق نهتجسه ولكننا لا نفهمه ، أو هل الانسان في تطور يشكل بذاته صفة للعالم المادي الذي يمتد بلا حدود؟

ان التيار الذي حمل في ركه الوجود كله بلا توان ولا تهاود لا يزال ينساب، ولن ينتهي معناه. فما نحن سوى مشاركين على مسرح تعددي الأطوار متمركز في شق ضيق من الزمن والمكان فيما يتدفق شلال الأحداث التي بدأت منذ دهور دون توقف . نحن جزء من سيرورة بدأت في صمر ما في الدهر الاركي . ومن تلك البداية المتواضعة جئنا تتسلق عتبة أثر عتبة على ما يبدو انه هرم مدرج. لكننا نبدو اننا قد بلغنا مشارف الذروة، وهي نقطة يتوقف عندها تيار التطور . لكننا نجد عند تحليل منحى الحياة ان ليس انسان هو الذي قد بلغ نقطة تقاطع حرجة في رحلة طويلة ، انما هو التطور البيولوجي.

لقد خلق التبدل الطفرى التنوع، وجعل الانتقاء الطبيعي الصالح من المتعضيات للتوسع الى كل بقعة بيئية حيوية بصلة. لكن الحقل البيولوجي منشور بأنواع بقيت في مستويات من الوجود الغابر . فقد تتبع التطور سلسلة من الخطوات الى التعاطف في الحجم والتعقيد ، بينما بقيت المستويات المختلفة مشغولة بأشكال من الحياة المتخلفة ، ولم تتطور سوى مقاطع من الاحياء لتصعد الشوط المدرج الى الانسان.

عليه ، أي سورة دفعت اسلال البروكاريوت الى هجر عالمها الميكروبي الذي ازدهرت فيه دهورا طويلة عديدة ، والمغامرة في بعد جديد كليا؟

لا يتحقق الحجم والتعقيد في التطور فقط بالآلية الانتقائية من الداروينية، تسري مبادئ النشوء الارتقائي الداروينية ضمن مستوى ما من النشوء التطوري. لكن التوسع الى تربية هرمية من مراحل يتطلب تنظيم المزيد من المادة في تركيبات ضاربة الى الاتساق، وعليه فيبدو انه توجد ركيزة قاعدية لا تفتأ تدفع رتل النظم البيولوجية الى ارتفاعات عالية باطراد، وللوقوف على هذه القاعدة يتوجب علينا أن نكرر تفحص العتبات.



أن الخطوة أو الدرجة الأكبر في التطور هي واحدة من الخطوات الأقل بروزا للنظر العابر. قبل أكثر من ألف مليون سنة ، في الزمن ما قبل الكامبري حين كانت القارات عارية وقاحلة مجدبة ، حين كانت الحياة لا تزال منحصرة في المتعضيات المجهرية العائمة في المحيطات ظهرت اليوكاريوت ، أكبر وأكثر تعقيدا بكثير في البنية الباطنية من أسلافها البروكاريوت . كانت اليوكاريوت لا تزال ميكروبات أحادية الخلية ولكنها طورت مسلكا انزيميا اتاح لها ان تستخدم الاوكسجين الجزيئي لأكسدة الغلوكوز كليا الى ثاني اوكسيد الكربون والماء. ان ما حققته اليوكاريوت بالتنفس كان اطلاقا من الطاقة المتوفرة من الغلوكوز يبلغ ثماني عشرة مرة أعظم من الكمية التي كانت أسلافها تستطيع الحصول عليها.

عندما استتبعت اليوكاريوت التنفس ادخلت بذلك عصرا من تعدد الخلوية دفع النباتات والحيوانات الى بعد جديد كلي، والخطوات الرئيسة في التطور منذئذ تعزى الى تحويل هذا النظام لتحقيق المزيد من الكفاءة التأيضية ، تطور السك بجهاز دورة دموية أكثر كفاءة مستخدما الهيموغلوبين لاستخراج الاوكسجين من الماء وحمله الى جميع الخلايا في الجسم، وأما الزواحف فقد كانت هوائية التنفس التي استطاعت ان تستغل التركيز الاعلى من الاوكسجين في الهواء، وظهرت الثدييات مع القدرة على التحكم بدرجات الحرارة لابقاء دماؤها دافئة وبذلك أكثر قدرة على تزويد الدماغ والعضل بالاكسجين . تشعب الانسان من الخلائق العليا بتوجيه طاقة التحفيز من خلال التسامي للتفكير الخلاق وهي الخطوة التي اجتاز بها الفاصل الى استدرار المخازين الهائلة من الطاقة الكامنة في الطبيعة الجمادية.

يوجد عامل واحد مفرد يمكن تشخيصه مع كل خطوة كبرى، ألا وهو

الطاقة.



سواء لنمو منظومة بيولوجية أم لتشييد ناطحة سحاب ،
يتطلب ترتيب المادة في تركيبة أكثر انتظاما ضد التيار الشامل سواء
أكان ذلك لغرض نمو منظومة بيولوجية أم لتشييد ناطحة سحاب ، يتطلب
تركيزا في الطاقة . وكلما اتسعت رقعة التنظيم المادي كلما تدعو الحاجة الى
دفع أكبر من الطاقة من خزان ما لدفع عملية التشييد ، وكل تقدم رئيس
في العمود التطوري ارتفق باستنباط وسيلة لاستمداد طاقة لم تكن متوفرة
للنظام السابق .

الطاقة هي المنطلق الذي يدفع اشكال الحياة الى التزايد حجما وتعقيدا،
والى واقعية ملموسة أعظم . لكننا فيما نرتب سياق التقدم التطوري نكتشف
مدلولا مقلقا .

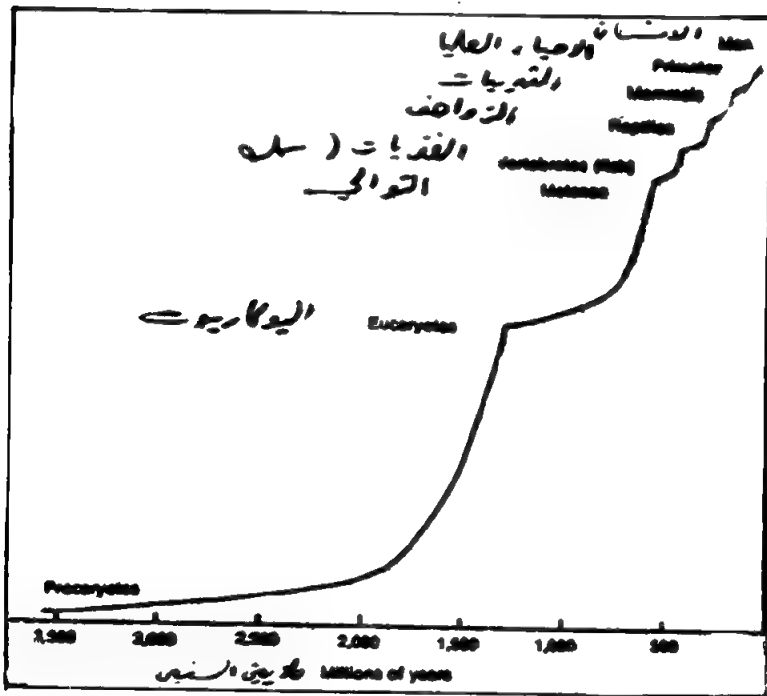
كل خطوة تشكل منحني تطوريا، وجميع الخطوات معا ترسم تقدما
متسارعا لكل التطور البيولوجي بأجمعه . استغرق أكثر من نصف الزمن في
التقدم من البروكاريوت ، واستغرق ذلك الزمن لبلوغ مستوى السمك،
وفيما تتابعت الخطوات المتلاحقة قل زمن التلاحق . انه منحني جسم متسارع
يجمع العزم، كالكرة الساقطة من علو . وتمضي القوة الدافعة بلا كبح،
ويبلي العزم السرعة .

ويبدو ان كل تطور رئيس في النشوء يستغرق زمنا أقصر فأقصر .
يبدأ كل تطور ببطء، ولكنه بالاغتذاء بعزم الذاتي يبدأ بالتسارع الى أن
يسرع الى حالته المتطورة ، وعندما يبلغ مستوى ختاميا ، وهو مرحلة أعلى
في النشوء، يبدأ انسال شكل الحياة الجديد بتكرار الدورة ، مستثنى صفة
ما تفضي أخيرا الى خطوة تالية أخرى .

توازن شدف من الاحياء وتتوقف عن التطور، لكن التقدم الاجمالي
لرتل البيولوجي لا يبلغ التوازن ، بل بالعكس، يواصل التسارع مرحلة تلو



مرحلة بوتيرة توحى الى أن فترة تفوق الانسان ستكون وجيزة. فانا في الظاهر قد بلغنا نقطة حرجة في التطور البيولوجي. وأما أن تيار التطور لم يعد يصدق، واما ان تغيرا جذريا في مسيرة التطور على وشك الوقوع . أيا كان الأمر فأننا في خضم شيء خطير يتمخض.



الشكل ١/٢٨ - مخطط بياني يرسم تتابع مراحل النشوء الرئيسة المفضية الى الانسان.

تعمل آلية المنظومات البيولوجية بالتفاعلات التلقائية ، تفاعلات كيميائية ليست متوازنة مع المحيط تمثل طاقة كامنة بمثابة قوة دافعة . تمكنت الخلية بعزل وتنسيق عمليات كيميائية منتقاة ضمن غشاء عازل من خلق قدرتها الكامنة من الطاقة وتوجيه قوتها لانجاز الانشطة الخلوية .

كانت عملية عزل الخلية انتقائيا من البيئة بواسطة غشاء ضرورية للكمون . كما انها جعلت الخلية البدائية كيانا مستقلا ، وعندما أصبحت الخلية ذاتية التحفيز انعتقت من اعتمادها الشديد على البيئة الكيميائية للتحكم في عملياتها الخاصة وابتعدت عن الوسط ما قبل الحياتي متجهة نحو تطور منفصل .

هاتان الخطوتان ، أي تكوين طاقة كامنة كقوة دافعة ، واستخدام السيورورات الدورية لخلق مراحل مستقلة ، كانتا طريقتين رئيسيتين في مسيرة النشوء . كانتا جوهرتي الضرورة لتكوين الخلايا البيولوجية، وهما متصلتان مباشرة بتفوق الانسان . كان الادراك الذاتي التفاعل الدائري الذي أتاح لنا ان نرى أنفسنا مستقلين عن المشهد الطبيعي . واستخدام الطاقة الخارجية أعان الانسان على التفوق والارتقاء بعيدا عن الحيوانية .

يرسم تقدمنا في التحكم بالطاقة مسار مجتمعا التكنولوجي . كانت الخطوة الاولى طويلة، وابتدأت بالجبار بروميثيوس (Prometheus) ، لكنها بقيت تطورا بطيئا لزمان مديد . طوال نصف مليون من السنين لم يملك الانسان غير النار كمصدر طاقة خارجي ذي أهمية . وأثناء تلك الفترة الطويلة صقل مهارته في صنع الاسلحة والادوات ، لكنها بقيت كتمديدات لطاقته الايضية . لم تبدأ الزراعة الا قبل حوالي ١٠٠٠٠ سنة تحل محل مجتمع الصيد والقبض . توطدت المجتمعات وبدأت تنمو، وأخذت تستعين بالبهائم في انجاز أعمالها . وفيما بدأ اكتشاف الأسس والقواعد الهندسية بدأ الانسان



بتسخير الرياح والماء لاعماله ، لكن الطاقة الايضية بقيت المصدر الرئيس للطاقة المقننة، ولم يتم تسخير كمون النار العظيم لانجاز عمل الى أن تم اختراع المحرك البخاري قبل أقل من مائتي سنة. واذ بدأت عجلات الصناعة تدور باستغلال الطاقة الكامنة في المخازين الهائلة من الوقود الاحفوري . ثم في عام ١٩٤٥ تم اطلاق طاقة الذرة في أحوال مقننة في مفاعل ذري في مختبرات ارغون بشيكاغو.

وفيما استتب الوسط بفعل التقدمات الاجتماعية والتكنيكية ، اتخذت الطاقة وسيطرتا عليها أهمية متزايدة، وتسارع السير مع كل خطوة ، الى أن أصبح المجتمع الآن يستهلك الطاقة بوتيرة فلكية . يرسم التطور منحني نموذجيا للتغير النسوي يبدأ بالتقدم ببطء، ثم يتسارع الى أن يقارب النهاية فيندفع متسابقا الى مستوى نظامي آخر.

لكن أي مستوى نظامي يمكن ان يخلفنا؟

لا يمكن اعتبار انواع فردية وبيئاتها في انزال بمفردها، فان كل منظومة بيئية هي جزء من سلسلة من منظومات بيئية التي تكبر بمراحل من الاصغر الى الاكبر بواسطة عرى تغذية ارتجاعية متواشجة وتتسع الى أن تشمل النطاق الحيوي برمته . كما ليست البيئة منفصلة عن الخلائق الحية التي تقطن فيها. فالتربة والبحر والهواء جزء من النطاق الحيوي الذي تقوم بتغذيته وتتأثر بالتوازن بين غازات الجو والبحار، وتوجد عمليات تبادل الغاز البيولوجي بين الجو وجميع الكائنات الحية . فالنباتات تتناول ثاني اوكسيد الكربون وتطلق الاوكسجين ، والحيوانات تستخدم الاوكسجين وتطرد ثاني اوكسيد الكربون . زيادة على ذلك، هناك عدد من الغازات بمقادير أقل، كالميثان ، والاوكسيد النيتروجيني ، وأول اوكسيد الكربون ، والامونيا، تطلقه المنظومات الحية، ولاسيما المتعضيات المجهرية في الجو. وعليه،



فإن الجو يتألف على وجه التقريب من نسبة اربعة الى واحد من النيتروجين الى الاوكسجين، مع عدد كبير من المقومات الضئيلة في تركيزات تبقى ثابتة على مدى أحقاب طويلة من الزمن الجيولوجي. والنقطة ذات الاهتمام هي أنها جميعها غير متوازنة الى حد كبير.

يمثل جو الارض شذوذا عن القاعدة في كونه يتألف من خمسة وسبعين بالمائة (٧٥٪) من الهيدروجين. ان جوا يتألف من واحد وعشرين بالمائة (٢١٪) من الاوكسجين يمثل كمون طاقة ضخم مع جوف الارض. وهذا كمون ناتج عن السيوررات البيولوجية ويستديم بها. وقد قدر ان من دون اطلاق النباتات الاوكسجين في الجو من عملية التمثيل الضوئي، لكان يضع جميع الاوكسجين الطليق ضمن فترة الفاي (٢٠٠٠) سنة في اكسدة الصخور والغازات المنبثقة من الانشطة البركانية^(١).

ليس فقط الغازان الرئيسان ، النيتروجين والاوكسجين ، غير متوازنين، وانما مكونات جوية صغرى هي أكثر غزارة بكثير مما ينبغي أن تكون وفق كيمياء التوازن. اضافة الى ذلك، تبقى تركيبة الجو ثابتة نسبيا بالرغم من غزوات الطبيعة والانسان الصناعي. لا بد انه توجد آليات تنظيمية تحفظ بهذا الثبات، ولادامة عدم التوازن يلزم تغذية الآلية بامداد من الطاقة باستمرار.

تعتبر الحياة هي المنظومات البيولوجية وان السمة الفريدة لخلية تتألف من جزيئات بيولوجية مغلقة بغشاء دهني شبه انفاذي انتشاري، وتم نقل هذه الصفة الى النباتات والحيوانات المعقدة عندما اجتازت الخلايا الى طور التعددية، غير ان هذه الصفة تملك مدلولاً اوسع من التعريف الضيق المقصور على المتعضيات المنفصلة القائمة بذاتها. ان مؤلفات المتعضيات (combinations) مثل مجموعات من المتعضيات المجهرية، والحشرات،



والانسان فتأخذ حيوية خاصة بها • وهذه تتزود من طاقة افرادها أو اعضاءها وتوزعها على الوحدة بأجمعها • وهذه بدورها هي علاقة تمايشية يستمد الافراد منها فوائد يعجز الفرد من بلوغها لوحده والاعتماد هذا مديم للحياة • فلا النمل ولا النحل ولا الانسان تستطيع العيش طويلا كمخلوقات منفردة وحيدة ، وعندما يموت المجتمع يموت الافراد مثلما تفعل خلايا الجسم المتوفى • ان الصفة التي نعتها بالحياة تختلق في منظومات ذاتية الادامة وقادرة على الحفاظ بكمون من الطاقة لدفع انشطتها، وهذا الكمون يمثل لا توازنا عبر حد بين باطن الوحدة والبيئة المحيطة • والحد بالنسبة الى الخلية البيولوجية هو الغشاء الدهني، أما بالنسبة الى مجتمع فيتم وضعه من قبل العضوية المغلقة ، وبالنسبة الى النطاق الحيوي بأجمعه هو الجو المؤكسج ومجموع كوامن النطاق الحيوي الذي يمدد اللاتوازن •

وعندما تتأمل الارض نكتشف أن النظام برمته يملك هذه الخواص نفسها الموجودة في الكيان الحي •

قام جيمز لفلوك من انكلترة ولين مرغوليس من جامعة بوسطن بطرح فرضية غايا (Gaia = الهة الارض وأم الجابرة عند الاغريق القدماء) حيث يعتبر جو الارض بمثابة جهاز الدورة الدموية للنطاق أو الجو الحيوي^(٢) (biosphere) • تشكل بعض اوجه الجو ، كدرجة الحرارة ، والتركيبية، وحالة الاكسدة - الاختزال ، والحموضة ، استقرارية متجانسة او ستائية متجانسة (homeostatic) • ولما كانت هذه الخواص هي بذاتها منتوجات النشوء المتطور، فان الجو يملك مظهر كونه ابتكارا تم تشكيله جماعيا من قبل المنظومات الحية لانجاز وظائف التحكم والسيطرة اللازمة • تعتبر المادة الحية والهواء والمحيطات وسطح الارض اليابسة كأجزاء من نظام كلي عملاق يملك القدرة على التحكم بدرجة الحرارة وتركيبية البحر والهواء



وحموضة التربة لمواصلة بقاء النطاق الحيوي. وبعبارة أخرى ان النظام بمجموعه يبدو انه يسلك كمتعضية حية.

نحن سيرورة ضمن سيرورة ومنذ ايام بروميشوس نطلق بتسارع مخازين من الطاقة لاحكام سيطرتنا وسيادتنا على الطبيعة . لكننا لسنا ظاهرة منعزلة، وانما نحن ذروة النشوء البيولوجي الذي أحال الارض الى سيرورة دينامية ذات ابعاد رهيبة هائلة . ونحن الآن قد اتمنا الدورة بأكملها، وغدونا في وضع مماثل بشدة لوضع متعضيات اليوكاريوت عندما ظهرت قبل أكثر من الف مليون سنة مضت ثم اقتحمت الى بعد جديد تماما.

عملت السيانوبكتيريا طوال الفتي (٢٠٠٠) مليون سنة على تكوين وترسيخ قاعدة امتصاص الطاقة الشمسية . فتناول النطاق الحيوي هذه الطاقة وتمثلها باطنيا بالنمو الجانبي وبالنمو الهرمي في سلاسل الاغذية فيما كانت الطحالب تحرر الاوكسجين الطليق وتبثه في البيئة . واقتدح التغير بالتبدل الطفري، كدقات الساعة نحو تنظيم أعلى للدنا DNA، بأثر الارتظام الطاقوي الشديد من الاشعة الكونية، الا أن الالتقاء الطبيعي (natural selection) عمل كترس وسقاطة (ratchet) ضد العودة الى مستوى أخفض.

لكن الآلية كانت تراوح، وبقيت الحياة على مستوى البروكاريوت لحين امكان دفع البيئة الارضية برمتها الى الأمام. استغرق ذلك دهورا لكن التنفس لم يصبح ممكنا الى ان وصل مستوى الاوكسجين الطليق الى واحد بالمائة من كميته او قيمته اليوم. وقد كان في هذه النقطة ان بلغ كمون الطاقة ارتفاعا امكن معه الاستدرار منه بظهور الخلايا اليوكاريوتية لتحقيق تنظيم بنيوي أعظم. كان عظم كمون الطاقة قد بلغ درجة بحيث انفتح الباب الى بعد جديد كلي بالحجم ومضت اليوكاريوت قدما في مسيرتها الى مستويات أعلى.



تم اجتياز المرحلة الاحادية الخلية الى المستوى النسيجي من التطور بالاسفنج واللاحشويات ، واستغرق التطور مائة مليون سنة أخرى للتقدم من المستوى النسيجي الى حيوانات ذات أعضاء. لكن النتيجة كانت انفجارية. اندفعت البيولوجيا أو الاحياء بقوة ، بلا وجل ولا مقاومة ، الى الخواء البعدي منفضية الى نشوء سريع لجميع العوائل الحيوانية الا واحدة ، وتمكنت الفقريات فقط من النشوء في وقت لاحق من العبليات، غصت البحار بالمفصليات والرخويات والديدان ولا فقريات غيرها ، وبدأ النشوء البيولوجي على الطريق مكررا الدورة .

ظل النشوء يتزود من كمون الطاقة في الارض طوال ست مائة (٦٠٠) مليون سنة لتوسيع النطاق الحيوي الى جميع انحاء البعد الجديد . (وتتم ادامة هذا الكمين بعملية التمثيل الضوئي، لاسيما بالعوالق النباتية في البحار). تطورت سلاسل الغذاء لاستيعاب احتياطي الطاقة المتزايد، واصبحت البنية البيولوجية في الحياة الحيوانية معقدة ومهذبة للغاية ، وامتدت الحياة الى جميع البقاع البيئية الحيوية الممكنة، من المياه المتجمدة في المناطق القطبية الى أعماق البحار الغائرة . والانسان، في توسعه، مدد سيادته الى جميع مرافق الخلائق الحية الأخرى، انما بالأحرى فتح انسال بروميثيوس صندوق باندورا (Pandora's box) ليجد كنوزا هائلة من كمائن الطاقة يعجز الخيال عن تصورها، ووجدوا كميات هائلة من الطاقة في مواد الوقود الاحفورية ، والآن فتحوا ايضا كمون الطاقة الرهيبة في الذرة .

بلغ التطور البيولوجي للانسان هضبة قبل حوالي مائة الف (١٠٠ ٠٠٠) سنة وبقي هناك طول الزمن دون تغيير يذكر. ان تطورنا النشوي كنوع قد بلغ النضج، لكن بنيتنا الحضارية هي التي تواصل التطور الآن. لقد بلغت بيولوجيتنا او حيويتنا مرحلة توازنها، لكن مجتمعنا التكنولوجي لم يفعل بعد.



وهو يواصل التسابق بعزم متزايد في منحني متسارع مندفعاً بزخم الطاقة الذي يمضي بلا مقاومة . نحن الآن في المرحلة المعادلة للحقب التي سبقت ثورة اليوكاريوت ، حين كانت البروكاريوت قد توسعت في الأعداد الى منتهى حدود تعقدها . غير ان استخدامهما للطاقة لم يؤد الى التوازن ، وانما عجل في تراكم كمون الطاقة وأدى الى فقدانها: لسيادتها .

تستهلك تكنولوجيا الطاقة بوتيرة هائلة، وفي أثناء هذه السيرة تبتكر الوسائل للكشف عن مصادر أعظم . الا انه يوجد حد لكمية الطاقة التي يمكن امتصاصها بطريقة انتظامية في حيز مغلق . وكما حصل لدى اليوكاريوت ، سيقتذف بنا كميننا الطاقوي الى بعد أعظم .

اننا نتطلع من خلال الغلاف الغازي الذي يلف الارض ونرى كونا منشورا بآلاف الملايين على آلاف الملايين من العوالم الأخرى، كامنة امامنا كسواحل نائية، كقارات بعيدة غير مستقصاة . فالفضاء خاو شاغر وأراضيه مجدبة مقفرة، ومغرية تدعونا اليها، كترار ذلك الحدث في فجر الحقبة الكمبرية قبل مئات عديدة من ملايين السنين حين اقتحم اسلافنا الى بعد آخر وخرجوا من البحار لاستيطان القارات . وهذه الفرص تذكي مخيلتنا وتشد على مصيرنا . وتملؤنا سعة الفضاء الهائلة بالرهبة ، وتجذبنا اليها ببطء كمنطيس لا يقاوم .

لقد تحتم على توسعنا التغلب تكرارا على مجموع العقبات والعوائق الزمنية والمسافية ، وفيما بقيت حاستنا الزمنية بلا تغيير نسبيا ضمن مدى ضيق، فاننا قد استطعنا خرق الحواجز وذلك بتقليص المسافة بالانتقال الاسرع . لكن الكون بعد آخره . والمسافات الى النجوم هائلة بحسب مقاييسنا بحيث لم يعد ممكنا ضمن قوانيننا الفيزيائية تحقيق العبور في زمننا . لقد بلغنا غاية جهدنا ووصلنا منتهى عقالتنا في توسعه شذفتنا من الحبيكة المادية . بارتباطنا

بحدود موضع الحجم والبعد لا نملك القدرة على تعظيم الحركة بما يتيح لنا توصيل نظامنا بموضع كوكب او نجم آخر . اذ لتحقيق هذا يتحتم علينا تكبير سيادتنا الحجمية البعدية بالمقاييس الكونية.

نحن الآن في الفاصل البيني بين بعدين عظيمين، كون الأحياء المجهرية الدقيقة والكون الاكبر . الأول مبني على قوة الاجتذاب الكهروستاتي والتي تنمو منها البنى الجزيئية والخلوية، بينما الآخر منمط بقوة الجاذبية القائمة بين الكتل الكبرى، والحجم هو الميزة الوحيدة بين البعدين ويعمل عكسيا مع قدرة القوة الرابطة . والميكروية المحاطة بالتفاعلات الشديدة للعالم الجزيئي ، تقع بعيدة دون منال الجاذبية ولا تملك ادراكا بوجودها . لكننا نحن في الفاصل البيني . نرى تلك الأشياء أصغر منا تستجيب لعلاقات الالفة الكيميائية، وتحس كتلتنا بشد الجاذبية الساحب فتحكي لنا الهيكة التي تضم الكون .

ان انحيازنا البيولوجي يجب عنا دورنا الكوني، ونحن نعتبر الحياة والوعي بمثابة الأشكال النهائية للتحقق المادي وثؤمن أن الانسان وأخلافه الداروينيين سيمسكون بزمام غزو الفضاء . تراودنا افكار التواصل مع منظومات أخرى من نوعنا في المجرة ، لغرض اخراجها واخراج أنفسنا من العزلة الى النور المشترك للوجود الواعي . لكن النجوم مواضع وقوع الارتباط لحيكة البعد الكوني، وسواحلها هي الكواكب، وقاراتها هي المنظومات الكوكبية ، وعوالمها جزر كونية من آلاف الملايين الالامحدودة من النجوم مبشرة في بحر خاو من الجسيمات والنوى الفرع ذرية ، أو الفرع ذرية (اذا استسيفت الصيغة) . ولكي ندخل الى هذه الساحة ونصبح جزءا منها يتحتم علينا أن نملك التركيبة المعقدة وناصية طاقة متناسبة لنتمكن من القبض على زمام السيطرة والتحكم بالمادة والبعد على ذلك النطاق .

خلقت البروكاريوت كمون طاقة عجزت عن السيطرة عليه . فخلفها

ليس شكلا أكثر تطورا من البروكاريوت وانما خلق جديد كليا نهض من
توالت لاصناف متنوعة . كان يوجد في التنوعة بين آلاف الملايين اللامعدودة
من الميكروبات البروكاريوتية متعضيات لها انزيمات لاستخدام الاوكسجين
الجزئي للتنفس ، ونشأت أخرى لها انزيمات لوقاية انفسها من الفناء
بالأكسدة . وعندما بلغ كمون الاوكسجين الجوي مستوى حرجا اثناء
الحقبة ما قبل الكامبرية ، كون صنف المتعضيات اتحادا تعايشيا واندمجا
بعضهما في صنف واحد تراجعت امامه البروكاريوت الى اكارع منعزلة
من البيئة لتقضي ايام وجودها كأحافير حية من عصر انقضى وزال . واليوم
يضم البدن البشري لوحده أعدادا هائلة من البكتيريا التي قد كيفت أنفسها
للعيش في باطن منتوج متطور من خلقتها أو صنفها هي .

والآن قد أخذت الدورة تشارف اتمام لفة كاملة فقدت البروكاريوت
سيادتها ليس فقط بمجرد انها سمحت ببيتها وانما لأنها كانت على حافة بعد
أكبر وخلقت كمونا من الطاقة ملك القدرة لدفع شكل جديد من الحياة اليه .
ونحن ايضا نقف متوازنين على لوحة الانطلاق نستعرض متجه مستقبلنا .

نحن نتوهم بأن افعالنا نابعة منا وأن يدنا هي التي تقبض على زمام
الأمر . لكن الكون لا يشاركنا في انحيازنا البيولوجي ، ان الحياة والوعي
من خصائص المخلوقات الحية ، وفي التطور الكوني تأتي الأحياء أو
البيولوجيا بمثابة طور يقع بين التطور الكيميائي والتطور الذي يليه .
وخواصنا البيولوجية هي صفات نشأت للملاءمة الاحوال القائمة في بعدنا .
أما البعد الكوني فيخص منظومات تمتلك القدرة على التسامي على مسعات
الزمان في الرحاب المجرية .

وفيما نواصل التبصر أبعد فأبعد ابدا في الزمن والبعد من خلال

الخصائص في قضيتنا الانفرادية المتمركزة في قشرة الأنوية نرى كونا دواما يصيح ويضحج بالتطور الدينامي ، فندرك اننا لربما ، مجرد لربما ، كنا نبحث عن الجواب للسؤال المغلوط . ان الأمر لم يعد الآن مسألة كيف يتلاءم الكون مع الكائن الانساني ، بل بالأحرى ، كيف يتلاءم الانسان كي يكون كائن الكون؟ ليس الجنس البشري لوحده هو الذي يصل الى الفضاء ، انما الارض بنطاقها الحيوي هي التي قد بدأت تمد نفسها وتتواءمها الى المنظومة الشمسية . ان تكنولوجيا الانسان تمثل نهاية مدى التطور البيولوجي والولوج الى طور التطور الميكانيكي . ومبتكراتنا الآن هي في تلك المرحلة التي كان التطور الكيميائي قد بلغها على الأرض البدائية مباشرة قبل خلقه الخلايا الاولى وايتانه بالتطور البيولوجي ، انها الآن في طريقها الى الاكتفاء الذاتي مثل لخلايا البيولوجية ، وحتى اننا قد يكون في وسعنا أن ندمج فيها وعينا ونجعلها مستقلة بما يكفي لكي نطلقها سهوا في تطورها الخاص بها .

تملك مختلفاتنا القدرة لتفسي الى شبكة بحجم المجموعة الشمسية ، كالجنين النامي، حيث تتمايز الخلايا لأداء وظائف معينة ، بوسع متجهنا التكنولوجي أن ينمو الى المنظومة الشمسية في اتحاد بشري مكائني، الى أن في النهاية ربما يتضاءل دور الانسان ويلتغي، فيمسي هو في حالة التطور الراكد الآسن كالميكروبة البروكاريوتية في كونها القطيري، بينما تواصل خلائقه السير الى أبعاد أعظم .

فيما نعيش حياتنا نحن كأفراد وكنوع يبدو ان دورنا في السيورة الكونية مقدر لنا مسبقا . يوجد مغزى كوني لمنحى الانسان . فنحن نحاول ، في عالم متفجر سائر الى الفوضى، ايقاف التيار باعادة كبس الزمن والمكان في حيز النظام، لقد غدا الانفجار الاجتياحي الذي خلق الكون المادي حساء مبتلا بالطاقة الكامنة الانتظامية . وكالعتقاء (phoenix) الأسطورية التي نهضت



NOTES

Chapter 1. Building Blocks

- 1 H. Urey, *The Planets* (New Haven: Yale University Press, 1952).
- 2 H. C. Urey, On the early chemical history of the earth and the origins of life, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 38, 351-363 (1952).
- 3 A. I. Oparin, *The Origin of Life*, trans. S. Morgulis (New York: Macmillan, 1938).
- 4 S.L. Miller, A production of amino acid under possible primitive earth conditions, *Science* 117, 528-529 (1953).
- 5 S.L. Miller, The first laboratory synthesis of organic compounds under primitive earth conditions, in *The Heritage of Copernicus: Theories Pleasing to the Mind*, J. Neyman, ed. (Cambridge, Mass: The MIT Press, 1974), pp. 228-242.

Chapter 2. Early Earth

- 1 B. G. Marsden and A. G. W. Cameron, *The Earth-Moon System* (New York: Plenum Press, 1966), p. 73.
- 2 William W. Rubey, Geologic history of seawater, *Bull. Geol. Soc. Am.* 1111-1146 (1951).
- 3 S. Moorbath, R.K. O'Nions, and R.J. Pankhurst, Early Archean age for the Isua Iron Formation, West Greenland, *Nature* 245, 136-139 (1973).
- 4 L. Paul Knauth and Samuel Epstein, Hydrogen and oxygen isotope ratios in nodular and bedded cherts, *Geochim. Cosmochim. Acta* 40, 1095-1108 (1976).

Chapter 3. Life before the Precambrian

- 1 M. F. Glaessner, Pre-Cambrian animals, *Sci. Amer.* 204 (3), 72-76 (1961); R. Goldring and C. N. Curnow, The stratigraphy and facies of the Late Precambrian at Ediacara, South Australia, *J. Geol. Soc. Aust.* 14, 195-214 (1967); M. Wade, Preservation of soft-bodied animals in Precambrian sandstones at Ediacara, South Australia, *Lethaia* 1, 238-267 (1968).
- 2 Adolph Knopf, The boulder batholiths of Montana, *Amer. J. Sci.* 255, 81-103 (1967).
- 3 M.R. Walter, Stromatolites and Biostratigraphy of the Australian Pre-



- cambrian and Cambrian, (London: The Palaeontological Association 1972).
- 4 Preston Cloud and Aharon Gibor, The oxygen cycle, *Sci. Amer.* 223 (3), 110-123 (1970).
 - 5 P. Cloud, Evolution of ecosystems, *Amer. Scientist* 62, 54-56 (1974).
 - 6 S.S. Gildrich, Ages of Precambrian banded iron-formation, *Econ. Geol.* 68, 1126-1134 (1973).
 - 7 S. Moorbath, R.K. O'Nions, and R.J. Pankhurst, Early Archean age for the Isua Iron Formation, West Greenland, *Nature* 245, 138-139 (1973).
 - 8 S.A. Tyler and E.S. Barghoorn, Occurrences of structurally preserved plants in Precambrian rocks of the Canadian Shield, *Science* 119, 606-6-8 (1954).
 - 9 E.S. Barghoorn and S.A. Tyler, Microorganisms from the Gunflint chert, *Science* 147, 563-577 (1965).
 - 10 J.W. Schopf, Microflora of the Bitter Spring Formation, Late Pre-Cambrian, Central Australia, *J. Paleontol.* 42, 650-688 (1968).
 - 11 E.S. Barghoorn and J.W. Schopf, Alga-like fossils from the Early Precambrian of South Africa, *Science* 156, 508-512 (1967).
 - 12 Hans D. Pflüg, Structured organic remains from the Fig Tree Series (Precambrian of the Barberton Mountain Land, South Africa), *Rev. Palaeobot. Palynol.* 5, 5-29 (1967).
 - 13 A. Engel, B. Nagy, L. A. Nagy, E.G. Engel, G.O.W. Kremp, and C.M. Drew, Algal-like forms in Onverwacht Series, South Africa: oldest recognized life-like forms on earth, *Science* 161, 1005-1008 (1968).
 - 14 J. Brooks and M.D. Muir, Chemistry and morphology of the microorganisms in the Early Precambrian rocks of the Onverwacht Group, I.U.P.A.C. International Symposium on Chemistry in Evolution and Systematics, held at Strasbourg, France, July 3-8, 1972.
 - 15 J. Oró and D.W. Noones, Aliphatic hydrocarbons in Precambrian rocks, *Nature* 213, 1082-1083 (1967).
 - 16 J. Han and M. Calvin, Occurrence of fatty acids and aliphatic hydrocarbons in a 3.4 billion-year-old sediment, *Nature* 224, 576-577 (1969).
 - 17 B. Nagy, Porosity and Permeability of the Early Precambrian Onverwacht chert origin of the hydrocarbon content, *Geochim. Cosmochim. Acta* 34, 525-527 (1970).
 - 18 D. Z. Oehler, Carbon Isotopic and Electron Microscope Studies of Organic Remains Precambrian Rocks (Ph. D. thesis, Univ. of Calif., Los Angeles, 1973).
 - 19 D. Z. Oehler, J. W. Schopf, and K. A. Kvenolden, Carbon isotopic



- studies of organic matter in Precambrian rocks, *Science* 175, 1246-1248 (1972).
- 20 J. W. Schopf, Biogenicity and significance of the oldest known stromatolites, *J. Paleontol.* 45, 477-485 (1971).
 - 21 J.W. Dunlop, M. D. Muir, V. A. Milne, and D.I. Groves, A new micro-fossil assemblage from the Archaean of Western Australia, *Nature* 274, 676-678 (1978).
 - 22 A. S. Lopuchin, Structures of biogenic origin from Early Precambrian rocks of Euro-Asia, *Origins of Life* 6, 45-47 (1975).
 - 23 J. William Schopf, Are the oldest "fossils," fossils? *Origins of Life* 7, 19-36 (1976); Preston Cloud and Karen Morrison, On microbial contaminants, micropseudofossils, and the oldest records of life, *Precambrian Res.* 9, 81-91 (1979).
 - 24 P.E. Cloud, G.R. Licari, L. A. Dright, and B. W. Troel, Proterozoic eucaryotes from eastern California, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 62, 623-630 (1969).
 - 25 J. William Schopf and Dorothy Z. Oehler, How old are the eucaryotes? *Science* 193, 47-49 (1976).
 - 26 Gerald R. Licari, Biogeology of the late pre-Phanerozoic Beck Spring Dolomite of eastern California, *J. Paleontol.* 52, 767-792 (1978).
 - 27 G.R. Licari and P. Cloud, Prokaryotic algae associated with Australian Proterozoic stromatolites, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 62, 56-62 (1972).
 - 28 H. Tappan, Possible eucaryotic algae (Bauglophycidae) among early Proterozoic microfossils, *Geol. Soc. Am. Bull.* 87, 633-639 (1976).
 - 29 A. H. Knoll and E. S. Barghoorn, Precambrian eucaryotic organisms: a reassessment of the evidence, *Science* 190, 52-54 (1975).
 - 30 B. Bloeser, J.W. Schopf, R.J. Horodyski, and W.J. Breed, Chitinozoans from the Late Precambrian Chuar Group of the Grand Canyon, *Science* 195, 676-679 (1977).

Chapter 4. The Age of Prokaryotes

- 1 D.Z. Oehler, J.W. Schopf, and K. A. Kvenvolden, Carbon isotopic studies of organic matter in Precambrian rocks, *Science* 175, 1246-1248 (1972).
- 2 Josephine E. Tilden, *The Algae and Their Life Relations* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1935).

Chapter 5. The Advance of the Eucaryotes

- 1 Paul Knauth and Samuel Epstein, Hydrogen and oxygen isotope ratios



- in nodular and bedded cherts, *Geochim. Cosmochim. Acta* 40, 1095-1108 (1976).
- 2 B. G. Marsden and A. G. W. Cameron, *The Earth-Moon System* (New York: Plenum Press, 1966), p. 73.
 - 3 Dorothy Hinslow Patent, *Microscopic Animals and Plants* (New York: Holiday House, 1974), p. 61.
 - 4 H. V. Wilson, On some phenomena of coalescence and regenerative sponges, *J. Exptl. Zool.* 5, 245-258 (1907).
 - 5 J. Holtfreter, Gewebeaffinität ein Mittel der embryonalen Formbildung, *Arch. exptl. Zellforsch. Gewebezücht* 23, 169-209 (1939).
 - 6 A. Mocona and H. Moscona, The dissociation and aggregation of cells from organ rudiments of the early chick embryo, *J. Anat.* 86, 287-301 (1952).

Chapter 6. Life's Cellular Nature

- 1 J. Cairns, from Braum: *Bacterial Genetics*, 2d ed. (Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1965).
- 2 B. Byers, Structure and formation of ribosome crystal in hyperthermic chick embryo cells, *J. Mol. Biol.* 26 155-167 (1967).
- 3 Ernest Borek, *The Sculpture of Life* (New York: Columbia University Press, 1973), pp. 10-12.
- 4 J. M. Whatley, The fine structure of Prochloron, *New Physiologists* 79, 309-311 (1977).

Chapter 7. Molecular Architecture

- 1 J. B. Summer, Isolation and crystallization of the enzyme urease, *J. Biol. Chem.* 69, 435-440 (1926); J.B. Summer, Recrystallization of urease, *J. Biol. Chem.* 70, 97-98 (1926).

Chapter 8. The Molecular Basis of Life

- 1 F. Miescher, Über die chemische Zusammensetzung der Eierzellen, *Hoppe-Seyler Med. Chem. Untersuch* 44a (1871).
- 2 O. T. Avery, C. M. MacLeod, and M. McCarty, Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types, *J. Exptl. Med.* 97, 137-157 (1944).
- 3 G. W. Beadle and E. L. Tatum, Genetic control of biochemical reactions in *Neurospora*, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 27, 499-506 (1941).
- 4 W. M. Stanley, Isolation of a crystalline protein possessing the properties



of Tobacco Mosaic virus, *Science* 81, 644-645 (1935).

- 5 E. Schrödinger, *What Is Life?* (New York: Macmillan, 1945).
- 6 E. Chargaff, S. Zamenhof, G. Braverman, and L. Kerin, Bacterial deoxyntose nucleic acids of unusual composition, *J. Am. Chem. Soc.* 72, 3825 (1950).
- 7 L. Pauling and R.B. Cores, structure of the nucleic acids. *Nature* 717, 346 (1953); L. Pauling and R. B. Corey, A proposed structure for the nucleic acids, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 39, 84-97 (1953).
- 8 J. D. Watson. *Molecular Biology of the Gene*, 2d ed. (New York: Benjamin, 1970); J. D. Watson and F. H. C. Crick, A structure for deoxyribose nucleic acid, *Nature* 171, 737-738 (1953); J. D. Watson and F. H. C. Crick, Genetics implications of the structure of deoxyribonucleic acid, *Nature* 171, 964-967 (1953).
- 9 M. Goulian, A. Kornberg, and R. L. Sinsheimer, Enzymatic synthesis of DNA. XXIV. Synthesis of infectious phase O X-174, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 58, 2321-2328 (1967).

Chapter 9. From Blueprint to Organism

- 1 T. Caspersson, Studien über den Eiweissumsatz der Zelle, *Natur iss.* 29, 33-48 (1941).
- 2 J. Bracht, La localization des acides pentosenucleiques dans les tissus animaux et les oeufs d'Amphibiens en voie de développement, *Arch. Biol. (Liege)* 53, 207-257 (1942).
- 3 H. Borzook, C. L. Deasy, A. J. Hagen-Smit, G. Keighley, and P. H. Lowry, Metabolism of C¹⁴-labeled glycine, L-histidine, L-leucine and L-lysine, *J. Biol. Chem.* 187, 839-848 (1950).
- 4 R. W. Holley, J. Aggar, G. A. Everett, J. T. Madison, M. Marquisse, S. H. Berrill, J. R. Penswick, and A. Zamur, Structure of a ribonucleic acid, *Science* 147, 1462-1465 (1965).
- 5 J. T. Madicon, G. A. Everett, and H. Kung, Nucleotide sequence of a yeast tyrosine transfer RNA, *Science* 153, 531-534 (1966).
- 6 J. D. Watson, Involvement of RNA in the synthesis of proteins, *Science* 140, 17-26 (1963).
- 7 M. W. Nirenberg and J. H. Matthael, The dependence of cell-free protein synthesis in *E. coli* upon naturally occurring or synthetic polynucleotides, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 47, 1588-1602 (1961).



Chapter 10. A Thread Unbroken

- 1 E. Zuckerkandl and L. Pauling, Evolutionary divergence and convergence in proteins, in *Evolving Genes and Proteins*, V. Bryson and H. J. Vogel, eds. (New York: Academic Press, 1965), pp. 97-166.
- 2 Motoo Kimura, The rate of molecular evolution considered from the standpoint of populations genetics, *Proc. Nat. Acad. Sci* 63, 1181-1188 (1969).
- 3 Vernon M. Ingram, Gene evolution and hemoglobins, *Nature* 189, 704-708 (1961).
- 4 *Atlas of Protein Sequence and Structure*, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biochemical Research Foundation, 1972).
- 5 W. M. Fitch and E. Margoliash, Construction of phylogenetic trees, *Science* 155, 279-284 (1964).
- 6 Motoo Kimura and Toroko Ohta, On some principles governing molecular evolution, *Proc. Nat. Acad. Sci*, 71, 2848-2852 (1974).
- 7 J. L. King and T. H. Jukes, Non-Darwinian evolution, *Science* 164, 788-798 (1969).
- 8 R. F. Doolittle and B. Blombäck, Amino-acid sequence investigations of fibrinopeptides from various mammals: evolutionary implications, *Nature* 202, 147-152 (1964).
- 9 R. F. Doolittle, G. L. Wooding, Y. Lin, and M. Riley, Hominoid evolution as judged by fibrinopeptide structures, *J. Mol. Evol.* 1, 74-83 (1971).
- 10 L. S. B. Leakey, The relationship of African apes, man, and the Old World Monkeys, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 67, 746-748 (1970).
- 11 A. C. Wilson and V. M. Sarich, A molecular time scale for human evolution, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 63, 1088-1093 (1969).
- 12 M. O. Dayhoff and R. V. Eck, Paleobiochemistry, in *Organic Geochemistry*, G. Eglinton and M. T. J. Murphy, eds. (New York, Heidelberg, and Berlin: Springer-Verlag, 1969), p. 205.
- 13 D. I. Arnon, Ferredoxin and Photosynthesis, *Science* 149, 1460-1470 (1965).
- 14 L. E. Mortenson, Ferredoxin and ATP, requirements for nitrogen fixation in cell-free extracts of *Clostridium pasteurianum*, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 52, 272-279 (1964).
- 15 R. Bachofen, B. B. Buchanan, and D. I. Arnon, Ferredoxin as a reductant in pyruvate synthesis by bacterial extract, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 51, 690-694 (1964).
- 16 R. V. Eck and M. O. Dayhoff, Evolution of the structure of ferredoxin



based on living relics of primitive amino acid sequences, *Science* 152, 363-366 (1966).

- 17 D. O. Hall, R. Cammack, and K.K. Rao, Role for ferredoxin in the origin of life and biological evolution, *Nature* 233, 136-138 (1971).
- 18 S. M. Siegel, K. Roberts, H. Nathan, and O. Daly, Living relative of the microfossil *Kakabekia*, *Science*, 156, 1231-1234 (1967).
- 19 Barbara Z. Siegel, *Kakabekia*, a review of its physiological and environmental features and their relation to its possible ancient affinities, in *Chemical Evolution of the Early Precambrian* (New York: Academic Press, 1977), pp. 143-154.

Chapter 11. Two Kinds of Life

- 1 Cited in E. B. Wilson, *The Cell in Development and Heredity*, 3d ed. (New York: Macmillan, 1925), p. 45.
- 2 R. Altmann, *Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu dem Zellen* (Leipzig: Veit und Comp., 1890).
- 3 Cited in Wilson, *The Cell in Development*, p. 738.
- 4 I. E. Wallin, The mitochondrion problem, *Am. Naturalist* 57, 255-261 (1923).
- 5 H. Ris and W. Plaut, Ultrastructure of DNA-containing areas in the chloroplast of *Chlamydomonas*, *J. Cell Biol.* 13, 383-391 (1962).
- 6 P. R. Bell and K. Mühlethaler, Evidence for the presence of deoxy-ribonucleic acid in the organelles of the egg cells of *Pteridium aquilium*, *J. Mol. Biol.* 8, 853-862 (1964); D. J. L. Luck and E. Rich, DNA in mitochondria of *Neurospora crassa*, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 52, 931-938 (1964); M. M. Nass, S. Nass, and B. A. Atzelius, The general occurrence of mitochondria DNA, *Exp. Cell Res.* 37, 516-539 (1965); F. L. Schuster, A deoxyribose nucleic acid component in mitochondria of *Didymium nigripes*, a slime mold, *Exp. Cell Res.* 39, 329-345 (1965).
- 7 L. Margulis, *Early Life* (Boston: Science Books International, Inc., 1982), p. 95.
- 8 P. L. Carpenter, *Microbiology*, 3d ed. (Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1967), p. 15.
- 9 L. Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution* (San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1981), p. 327.
- 10 W. F. Doolittle, The cyanobacterial genome, its expression and the control of that expression, in *Advances in Microbial Physiology*, 20, A. H. Rose and J. G. Morris, eds. (London: Academic Press, 1979), pp. 1-102.



- 11 Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution*, p. 215.
- 12 P. John and F. R. Whatley, *Paracoccus denitrificans*, a present-day bacterium resembling the hypothetical free-living ancestor of the mitochondrion, *Symbiosis Proc. Soc. Expt. Biol.* 29, 39-40 (London: Cambridge University Press, 1975).
- 13 D. Searcy and R. J. Delange, *Thermoplasma acidophilum* histonelike protein partial amino acid sequence suggestive of homology to eukaryotic histones, *Biochim. Biophys. Acta* 609, 197-290 (1980).
- 14 C. R. Woese, G. E. Fox, L. Zablen, T. Uchida, L. Bonen, K. Pechman, B. J. Lewis, and D. Stahl, Conservation of primary structure in 16S rRNA, *Nature* 254, 83-86 (1975).
- 15 Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution*, pp. 285-309.
- 16 C. E. Clifton, *Introduction to the Bacteria*, 2d ed. (New York: McGraw-Hill, 1958), p. 69.
- 17 Margulis, *Early Life*, p. 101.
- 18 Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution*, pp. 256-273.
- 19 P. E. Cloud, Pre-meazoan evolution and the origins of Metazoa, in *Evolution and Environment*, E. T. Drake, ed. (New Haven: Yale University Press, 1968), pp. 1-72.
- 20 J. R. Nursall, Oxygen as a prerequisite to the origin of the metazoa, *Nature* 183, 1170-1172 (1969); L. W. Berkner and L. C. Marshall, The history of oxygenic concentration in the earth's atmosphere, *Discussions Farady Soc.* 37, 122-141 (1964); L. W. Berkner and L. C. Marshall, History of major atmospheric components, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 53, 1215-1226 (1965); J. S. Levine, Surface solar ultraviolet radiation for paleoatmospheric levels of oxygen and ozone, *Origins of Life* 10, 313-323 (1980).
- 21 Berkner and Marshall, The history of oxygenic concentration; Berkner and Marshall, History of major atmospheric components.
- 22 L. Margulis, J. C. G. Walker, and M. Rambler, Reassessment of roles of oxygen and ultraviolet light in Precambrian evolution, *Nature* 264, 620-624 (1976).
- 23 C. J. Brock and J. I. Harris, Aspects of the structure and evolution of superoxide dismutases, in *The Evolution of Metalloenzymes, Metalloproteins and Related Materials*, G. J. Leigh, ed. (London: Symposium Press, 1977), pp. 85-99.
- 24 Margulis, *Early Life*, p. 75.
- 25 Margulis, Walker, and Rambler, Reassessment of roles.



Chapter 12. Archaeobacteria

- 1 Robert M. Schwartz and Margaret O. Dayhoff, Origins of prokaryotes, eukaryotes, mitochondria, and chloroplasts, *Science* 199, 395-403 (1978); John Barnabas, Robert M. Schwartz, and Margaret O. Dayhoff, Evolution of major metabolic innovations in the Precambrian, *Origins of Life* 12, 81-91 (1982).
- 2 D. W. Emerich and R.H. Burris, Interactions of heterologous nitrogenase components that generate catalytically inactive complexes, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 73, 4369-4373 (1976).
- 3 H. D. Peck, Jr., in *Evolution in the Microbial World*, M. J. Carlile and J. J. Skehel, eds. (London: Cambridge University Press, 1974), pp. 241-262.
- 4 M. Schildowski, Antiquity and evolutionary status of bacterial status of bacterial sulfate reduction: sulfur isotope evidence, *Origins of Life* 9, 299-311 (1979).
- 5 Barnabas, Schwartz, and Dayhoff, Evolution of major metabolic innovations.
- 6 V. DeMoulin, Protein and nucleic acid sequence data and phylogeny, *Science* 205(1036-1038 (1979).
- 7 G. E. Fox, E. Stakebrandt, R.B. Hespell, J. Gibson, J. Maniloff, T. A. Dyer, R. S. Wolfe, W.E. Balch, R.S: Tanner, L. J. Margum, L. B. Zablen, K. Blakemore, R. Gupta, L. Bonen, B.J. Lewis, D. A. Stahl, K. R. Luehrsen, K.N. Chen, and C. R. Woese, The phylogeny of prokaryotes, *Science* 209, 457-463 (1980).
- 8 C. Woese, M. Sogin, D. Stahl, B. J. Lewis, and L. Bonen, A comparison of the 16S ribosomal RNA's from mesophilic and thermophilic bacilli: some modifications in the Sanger method of RNA sequencing, *J. Mol. Evol.* 7, 197-213 (1976); G. E. Fox, K. R. Pechman, and C. R. Woese, comparative cataloging of 16S ribosomal ribonucleic acid: molecular approach to procaryotic systematics, *Int. J. Syst. Bacteriol.* 27, 44-57 (1977); T. Uchida, L. Zonen, H.W. Schaup, B. J. Lewis, L. Zablen, and C. R. Woese, The use of ribonuclease U₂ in RNA sequence determination, *J. Mol. Evol.* 3, 63-77 (1974).
- 9 O. Kandler, Zellwandstrukturen bei Methanbakterien zur Evolution der Prokaryoten, *Naturwiss.* 66. 95-105 (1979).
- 10 J. B. Jones, B. Bowers, T. C. Stadtman, *Methanococcus vanielii*: ultrastructure and sensitivity to detergent and antibiotics, *J. Bact.* 130, 1404-1406 ((1977); R. L. Weiss, Subunit cell wall of *Sulfolbus acidocaldarius*, *J. Bact.* 118, 275-284 (1974).



- 11 O. Kandler and H. König, Chemical composition of the peptidoglycan-free cell walls of methanogenic bacterium, *Arch. Microbiol.* 118, 141-152 (1978).
- 12 G. Darland, T. D. Brock, W. Samsonov, and S. F. Conti, A thermophilic acidophilic mycoplasma isolated from a coal refuse pile, *Science* 170, 1416-1418 (1970).
- 13 M. Kates, Ether-linked lipids in extremely halophilic bacteria, in *Ether Lipids, Chemistry and Biology*, F. Snyder, ed. (New York: Academic Press, 1972), pp. 351-398; T. A. Langworthy, Long-chain diglycerol tetraethers from *thermoplasma acidophilum*, *Biochim. Biophys. Acta* 487, 37-50 (1977); S. C. Kushwaha, M. Kates, G. D. Sprott, and I. C. P. Smith, Novel complex polar lipids from the methanogenic archaeobacterium *Methanospirillum hungeteii*, *Science* 271, 1163-1164 (1981).
- 14 R. Gupta and C. R. Woese, Unusual modification patterns in the transfer RNAs of archaeobacteria, *Curr. Microbiol.* 4, 245-249 (1980).
- 15 C. R. Woese, Archaeobacteria, *Sci. Amer.* 244(6), 98-122 (1981); C. R. Woese, Archaeobacteria and cellular origins: an overview, *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. C* 3, 1-17 (1982).
- 16 A. T. Matheson, W. Moller, R. Amons, and M. Yaguchi, Comparative studies on the structure of ribosomal proteins with emphasis on the alanine-rich acidic ribosomal A protein, in *Ribosomes: Structure, Function, and Genetics*, G. Chamblis, G.R. Craven, J. Davies, L. Kahan, and M. Nomumra, eds. (Baltimore: University Park Press, 1980), pp. 297-332.
- 17 W. Zillig, K. O. Stetter, and D. Janekovic, DNA-dependent RNA polymerase from *Halobacterium holobium*, *Europ. J. Biochem.* 91, 193-199 (1978); S. Sturm, U. Schönefeld, W. Zillig, D. Janekovic, and K. O. Stetter, Structure and function of the DNA-dependent RNA polymerase of the archaeobacterium *Thermoplasma acidophilum*, *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. C* 1, 12-25 (1980).
- 18 C. R. Woese, A proposal concerning the origin of life on the planet earth, *J. Mol. Evol.* 13, 95-101 (1979).

Chapter 13. Energetics

- 1 F. Lipmann, Metabolic generation and utilization of phosphate bond energy, *Adv. Enzymol.* 1, 99-162 (1941).
- 2 Albert L. Lehninger, *Bioenergetics*, 2d ed. (Reading, Mass.: W. A. Benjamin, Inc., 1971), p. 42.



Chapter 14. The Driving Force

- 1 R. Hill, Oxygen produced by isolated chloroplasts, *Proc. Roy. Soc. B* 127, 192-210 (1939).
- 2 D. I. Arnon, M. B. Allen, and F. R. Whatley, Photosynthesis by isolated chloroplasts, *Nature* 174, 394-396 (1954).
- 3 H. A. Krebs and W. A. Johnson, The role of citric acid in intermediate metabolism in animal tissues, *Enzymologia* 4, 148-156 (1937).

Chapter 15. The Question of Genesis

- 1 Atlas of Protein Sequence and Structure, Vol. 5, M. O. Dayho⁷, ed. (Washington D. C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), p. 50.
- 2 R. J. Britten and D. D.E. Kohne, Repeated sequences of DNA, *Science* 161, 529-540 (1968).
- 3 Atlas of Protein Sequence and Structure, vol. 5, pp. D35-D36.
- 4 H. J. Morowitz, Biological self-replicating systems, *Prog. Theor. Biol.* 1, 35-58 (1967).
- 5 Wayne F. Frair, Lifet in a test tube? *Quart. J. Creation Res. Soc.* 5, 34-41 (1968).
- 6 M. Dixon and E. C. Webb, *Enzymes* (New York: Academic Press, 1958), pp. 667-670.
- 7 H. Fraekel-Contrat and R. C. Williams, Reconstitution of active tobacco mosaic virus from the inactive protein and nucleic acid components, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 41, 690-698 (1955).

Chapter 16. The Essentials of Life

- 1 R. W. Holley, J. Aggar, G. A. Everett, J. T. Madison, M. Marquisse, S. H. Merrill, J. R. Penwick, and A. Zamir, Structure of a ribonucleic acid, *Science* 147, 1462-1465 (1965).
- 2 B. G. Barrell and B. F. C. Clark, *Handbook of Nucleic Acid Sequences* (Oxford: Joynson-Bruvvers, 1974).
- 3 L. E. Orgel, Evolution of the genetic apparatus, *J. Mol. Biol.* 38, 381-393 (1968).
- 4 Sidney W. Fox, The proteinoid theory of the origin of life and competing ideas, *Am. Biol. Teacher* 36, no. 3, 161-172 (1974).
- 5 I. Asimov, *Fact and Fancy* (New York: Avon Books, 1972), pp. 11-20.
- 6 J. B. McClendon, Elemental abundances as a factor in the origins of nutrient requirements *J. Mol. Evol.* 8, 175-195 (1976).



- 7 D. O. Hall, R. Cammack, and K. K. Rao, Role for ferredoxin in the origin of life and biological evolution, *Nature* 233, 136-138 (1971).
- 8 McClendon, Elemental abundances.
- 9 L. Margulis, *Origin of Eukaryotic Cells* (New Haven: Yale University Press, 1970), pp. 7, 8.
- 10 F. H. C. Crick and L. E. Orgel, Directed panspermia, *Icarus* 19, 341-346 (1973); W. R. Chappell, R. R. Melgen, and D. D. Runnelis, Comments on "Directed panspermia," *Icarus* 21, 513-515 (1974); T. H. Jukes, Seawater and the origins of life, *Icarus* 21, 516-517 (1974); L. E. Orgel, Reply: "Comments on 'Directed panspermia' " and "Seawater and the origins of life," *Icarus* 21, 518 (1974); A. Banin and J. Navrot, Origin of life: clues from relations between chemical composition of living organisms and natural environments, *Science* 189, 550-551 (1975).

Chapter 17. The Search for the Building Blocks

- 1 E. Pflüger, Ueber die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen, *Arch. gesam. Physiol.* 10 (1875).
- 2 A. I. Oparin, *Proiskhozhdenie zhizni* (The Origin of Life) (Moscow: Ixd. Moskovskiy Rabochiy, 1924).
- 3 A. I. Oparin, *The Origin of Life*, trans. S. Morgulis (New York: Macmillan, 1938).
- 4 J. B. S. Haldane, The origin of life, *Rationalist Annual*, 148-153 (1928), repr. in *Science and Human Life* (New York: Harper Brothers, 1933).
- 5 H. N. Russell, *Astrophys. J.* 70, 11 (1929), cited in Virginia Trimble, The origin and abundances of the chemical elements, *Rev. mod. Phys.* 47, 877-986 (1975).
- 6 J. D. Bernal, *The Physical Basis of Life* (London: Routledge and Kegan Paul, 1951).
- 7 J. W. Williams, Problems in protein chemistry, in *Colloid Chemistry*, *Ann. Rev. Phys. Chem.* 2, 403-424 (1951).
- 8 F. Sanger and E. O. P. Thompson, The amino-acid sequence in the glyceryl chain of insulin, *Biochem. J.* 53, 366-374 (1953).
- 9 W. M. Garrison, D. C. Morrison, J. G. Hamilton, A. A. Benson, and M. Calvin, Reduction of carbon dioxide in aqueous solution by ionizing radiation, *Science* 114, 416-418 (1951).
- 10 S. L. Miller, A production of amino acids under possible primitive earth conditions, *Science* 117, 528-529 (1953).
- 11 J. D. Watson and F. H. C. Crick, A structure for deoxyribose nucleic



- acid, *Nature* 171, 737-738 (1953).
- 12 S. L. Miller, Production of some organic compounds under possible primitive earth conditions, *J. Am. Chem. Soc.* 77, 2351-2361 (1955); S. L. Miller, The mechanism of synthesis of amino acids by electric discharge, *Biochim. Biophys. Acta* 23, 480-489 (1957); S. L. Miller, The formation of organic compounds on the primitive earth, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 69, 260-275 (1957).
 - 13 T. E. Pavolvskaya and A. G. Pasynskii, The original formation of amino acids under the action of ultraviolet rays and electric discharges, in *The Origin of Life on the Earth*, F. Clark and R. L. M. Synge, eds. (New York: Pergamon Press, 1959), pp. 151-157; A. N. Terenin, Photo-synthesis in the shortest ultraviolet, in *ibid.*, pp. 136-139.
 - 14 P. H. Abelson, *Paleobiochemistry*, Carnegie Inst. of Washington Yearbook, no. 53 (1955-56).
 - 15 W. Groth and H. V. Weyssenhof, Photochemical formation of organic compounds from mixtures of simple gases, *Planet. Space Sci.* 2, 79-85 (1960).
 - 16 M. Ya. Dodonova and A. I. Sidorova, Photosynthesis of amino acids from a mixture of simple gases under the action of short-wave ultraviolet radiation, *Biophys.* 6, 164-175 (1961).
 - 17 Carl Sagan and Bishun N. Khare, Long-wavelength ultraviolet photo-production of amino acids on primitive Earth, *Science* 173, 417-420 (1971).
 - 18 K. Dose and B. Rajewsky, Strahlenchemische Bildung von Aminen und Aminocarbonsäuren, *Biochim. Biophys. Acta* 25, 225-226 (1957).
 - 19 N. Friedmann and S. L. Miller, Phenylalanine and tyrosine synthesis under primitive earth conditions, *Science* 166, 766-767 (1969).
 - 20 N. Friedmann, W. J. Haverland, and S. L. Miller, Prebiotic synthesis of the aromatic and other amino acids, in *Molecular Evolution I. Chemical Evolution and the Origin of Life*, R. Buve and C. Ponnamperna, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1971), pp. 123-135.
 - 21 A. Bar-Nun, N. Bar-Nun, S. H. Bauer, and C. Sagan, Shock synthesis of amino acids in simulated primitive environments, *Science* 168, 470-473 (1970).
 - 22 W. W. W. Rubey, Geologic history of sea water, *Bull. Geol. Soc. Am.* 62, 1111-1148 (1951).
 - 23 Philip H. Abelson, Chemical events on the primitive earth, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 55, 1365-1372 (1966).
 - 24 *Ibid.*
-



- 25 J. Oró and S. S. Kamat, Amino Acid synthesis from hydrogen cyanide under possible primitive earth conditions, *Nature* 190, 442-443 (1961).
- 26 C. Ponnamperna and N. W. Gabel, Current status of chemical studies on the origin of life, *Space Life Sci.* 1, 64-96 (1968).
- 27 Abelson, Chemical events.
- 27 Abelson, Chemical events.
- 28 Cited in A. I. Oparin, *Genesis and Evolutionary Development of Life* (New York: Academic Press, 1968), p. 66.
- 29 P. Kropokin, in *Sovetskaya Geologiya* (Soviet Geology), Coll. 47, (Gos. Nauchno-tekhn. Ind., 1955), p. 104.

Chapter 18. Nucleosides, Nucleotides, and ATP

- 1 J. Oró, Synthesis of adenine from ammonium cyanide, *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 2, 407-412 (1960).
- 2 J. Oró and A. P. Kimball, Synthesis of puriness under possible earth conditions I. Adenine from hydrogen cyanide, *Arch. Biochem. Biophys.* 94, 214-227 (1961).
- 3 J. Oró and S. S. Kamat, Amino acid synthesis from hydrogen cyanide under possible primitive earth conditions, *Nature* 190, 442-443 (1961).
- 4 C. U. Lowe, R. W. Rees, and R. Markham, Synthesis of complex organic compounds from simple precursors: formation of amino acids, amino acid polymers, fatty acids and purines from ammonium cyanide, *Nature* 199, 219-222 (1963).
- 5 R. A. Sanchez, J. P. Ferris, and L. E. Orgel, Cyanoacetylene in prebiotic synthesis, *Science* 154, 784-785 (1966).
- 6 J. P. Ferris, J. C. Joshi, and J. G. Lawless, Chemical evolution XXIX. Pyrimidines from hydrogen cyanide, *Biosystems* 9, 81-86 (1977).
- 7 Sanchez, Ferris, and Orgel, Cyanoacetylene in prebiotic synthesis; J. P. Ferris, R. A. Sanchez, and L. E. Orgel, Studies in prebiotic synthesis III. Synthesis of pyrimidines from cyanoacetylene and cyanate, *J. Mol. Biol.* 33, 693-704 (1968).
- 8 J. Oró and A. C. Cox, Non-enzymic synthesis of 2-deoxyribose, *Fed. Proc.* 21, 80 (1962).
- 9 C. Ponnamperna and P. Kirk, Synthesis of deoxyadenosine under simulated primitive earth conditions, *Nature* 203, 400-401 (1964).
- 10 S. L. Miller and L. E. Orgel, *The Origins of Life on the Earth* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1974), p. 113.
- 11 R. A. Sanchez and L. E. Orgel, Studies in prebiotic synthesis V. Synthesis and photoanomerization of pyrimidine nucleoside, *J. Mol. Biol.*



- 47, 531-543 (1970).
- 12 T. V. Waenheldt and S. W. Fox, Phosphorylation of nucleosides with polyphosphoric acid, *Biochem. Biophys. Acta* 134, 1-8 (1967).
- 13 B. Mason, *Principles of Geochemistry* (New York: John Wiley, 1966), p. 100.
- 14 S. L. Miller and M. Parris, Synthesis of pyrophosphates under primitive earth conditions, *Nature* 204, 1248-1250 (1964).
- 15 A. W. Schwartz, Phosphate: solubilization and activation on the primitive earth, in *Molecular Evolution*, R. Buvet and C. Ponnamperna, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1971), pp. 207-223.
- 16 C. Ponnamperna and R. Mack, Nucleotide synthesis under possible primitive earth conditions, *Science* 148, 1221-1223 (1965).
- 17 R. Lohrmann and L. E. Orgel, Urea-inorganic phosphate mixtures as prebiotic phosphorylating agents, *Science* 171, 490-494 (1971).
- 18 R. Osterberg, L. E. Orgel, and R. Lohrmann, Further studies of urea-catalyzed phosphorylation reactions, *J. Mol. Evol.* 2, 231-234 (1973).
- 19 J. Brooks and G. Shaw, *Origin and Development of Living Systems* (New York: Academic Press, 1973).

Chapter 19. Polypeptides

- 1 F. Hofmeister, Über Bau and Gruppierung der Eiweisskörper, *Ergeb. Physiol.* 1, 759-802 (1902).
- 2 E. Fischer, Ueber einige Derivate des Glykocolls, Alanins und Leucins, *Ber.* 35, 1095-1106 (1902).
- 3 H. Schiff, Ueber Polyaspartsäuren, *Ber.* 30, 2449-2459 (1897).
- 4 L. Balbiano, Ueber ein neues Glykocollanhydrid, *Ber.* 34, 1501-1504 (1901); L. Balbiano and D. Hrasciatti, Ueber ein neues Derivat des Glykocolls, *Ber.* 33, 2323-2326 (1900).
- 5 T. Curtius and A. Benrath, Ueber benzoyl-pentaglycerla ide Essigsäure (y-Säure), *Ber.* 37, 1279-1310 (1904).
- 6 W. H. Carothers, Polymers and polyfunctionality, *Trans. Faraday Soc.* 32, 39-53 (1936).
- 7 S. W. Fox and M. Middlebrook, Anhydrocopolymerization of amino acids under the influence of hypothetically primitive terrestrial conditions, *Fed. Proc.* 13, 211 (1954).
- 8 Sidney W. Fox and Milton Winitz, Enzymic synthesis of peptide bonds IV. Effects of variation in substrate structure on relative extents of synthesis of benzolamine acid anilides as catalyzed by papain and ficin, *Arch. Biochem.* 35, 419-427 (1952).



- 9 S. W. Fox, Karada, and A. Vegotsky, Thermal polymerization of amino acids and a theory of biochemical origins, *Experientia* 15, 81-84 (1959).
- 10 S. W. Fox, Evolution of protein molecules and thermal synthesis of biochemical substances, *Am Scientist* 44, no. 4, 347-359 (1956).
- 11 S. W. Fox and K. Harada, Thermal polymerization of amino acids to a product resembling protein, *Science* 128, 1214 (1958).
- 12 S. W. Fox and K. Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life* (San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1972).
- 13 S. W. Fox and K. Harada, The thermal copolymerization of amino acids common to protein, *J. Am. Chem. Soc.* 82, 3745-3751 (1960).
- 14 D. L. Hohlring and S. W. Fox, Catalytic activities of thermal polyanhydro-o-amino acids, in *advances in Catalysis* 20, 737-418 (1969).
- 15 J. Kovacs, I. Koenyves, and A. Pusztai, Darstellung von Polyasparaginsäuren (Polyaspartsäuren aus dem thermischen Autokondensationsprodukt der Asparaginsäure), *Experientia* 9, 459-460 (1953).
- 16 Fox and Harada, Thermal copolymerization of amino acids common to protein.
- 17 J. Kovacs, in *Polyamino Acid, Polypeptides and Proteins*, M. Stahman, ed. (adison: University of Wisconsin Press, 1962), pp. 53-54.
- 18 K. A. Grossenbacher and C. A. Knight, Amino Acids, peptides and spherules obtained from "primitive earth" gases in a sparking system, in *The Origins of Prebiological Systems*, S. W. Fox, ed. (New York: Academic Press, (1965), pp. 173-186.
- 19 P. Stigel, R. D. inard, and C. N. Matthews, cited in C. N. Matthews, The origin of proteins: heteropolypeptides from hydrogen cyanide and water, *Origins of Life* 6, 155-162 (1975).
- 20 C. Sagan and B. N. Khare, Long-wavelength ultraviolet photoproduction of amino acids on primitive Earth, *Science* 173, 417-420 (1971).
- 21 Clifford N. Matthews and Robert E. Moser, Prebiological protein synthesis, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 56, 1087-1094 (1966); Clifford N. Matthews and Robert E. Moser, Peptide synthesis from hydrogen cyanide and water, *Nature* 215, 1230-1234 (1967).
- 22 R. E. Moser, A. K. Claggert, and C. N. Matthews, Peptide formation from diaminomalonnitrile (HCN tetramer), *Tetrahedron Letters* 15, 1599-1603 (1968).
- 23 C. N. Matthews, the origin of proteins: heteropolypeptides from hydrogen cyanide and water, *Origins of Life* 6, 155-162 (1975).
- 24 I. G. Draganic, Z. D. Draganic, S. Jovanovic, and S. V. Ribnikar, Infrared spectral characterization of peptidic material produced by ioni-



- zing radiation in aqueous cyanides, *J. Mol. Evol.* 10, 103-109 (1977).
- 25 R. Minard, W. Yang, P. Varma, J. Nelson, and C. Matthews, Heteropolypeptides from poly-a-cyanoglycine and hydrogen cyanide: a model for the origin of proteins, *Science* 190, 387-389 (1975).
 - 26 James P. Ferris, HCN did not condense to give heteropolypeptides on primitive earth, *Science* 203, 1135-1137 (1979).
 - 27 C. I. Simionescu, F. Dénes, and I. Negulescu, Abiotic synthesis and the properties of some protobiocopolymers, *J. Polymer Sc. Polymer Symp.* 64, 281-304 (1978).
 - 28 C. Krewson and J. Couch, The hydrolysis of nicotinonitrile by ammonia, *J. Am. Chem. Soc.* 65, 2256-2257 (1943).
 - 29 S. Akabori, in *Origin of Life on Earth*, A. I. Oparin, ed. (Oxford: Pergamon Press, 1959), pp. 189-196; S. Akabori, *Kagaku (Science)* 25, 54 (1955).
 - 30 J. D. Bernal, *The Physical Basis of Life*, (London: Routledge and Kegan Paul, 1951).
 - 31 M. Paecht-Horowitz and A. Katchalsky, Polycondensation of amino acid phosphoanhydrides II. Polymerization of proline adenylate at constant phosphoanhydride concentration, *Biochim. Biophys. Acta* 140, 14-23 (1967); M. Paecht-Horowitz, J. Berger, and A. Katchalsky, Prebiotic synthesis of polypeptides by heterogeneous polycondensation of amino acid adenylates, *Nature* 228, 636-639 (1970); M. Paecht-Horowitz, The mechanism of clay catalyzed polymerization of amino acid adenylate, *Biosystems*, 9, 93-98 (1977).
 - 32 A. Katchalsky, Prebiotic synthesis of biopolymers on inorganic templates, *Naturwiss.* 60, 215-220 (1973).
 - 33 M. Eigen, Self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules, *Naturwiss.* 58, 465-523 (1971).
 - 34 K. Dose, Peptides and amino acids in the primordial hydrosphere, *Biosystems* 6, 224-228 (1975).
 - 35 N. Lahav and S. Chang, The possible role of solid surface area in condensation reactions during chemical evolution: reevaluation, *J. Mol.* 8, 357-380 (1976).
 - 36 Bernal, *Physical Basis of Life*.
 - 37 H. A. Ireland, in *Silica in Sediments*, H. A. Ireland, ed., *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, no. 7 (Tulsa, 1959).
 - 38 G. Millot, *Géologie des Argiles altérées, sédimentologie géochimie* (Paris: Masson et Cie, Hall, 1970), pp. 45-48.
 - 39 Armin Weiss, Replication and evolution in inorganic systems, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 20, 850-860 (1981).



Chapter 20. The Enzyme Mystique

- 1 L. Pauling, R. B. Corey, and H. R. Branson, The structure of proteins: two hydrogen-bonded helical configurations of the polypeptide chain, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 37, 205-211 (1951).
- 2 J. Jollès, J. Jauregui-Adell, I. Bernier, and P. Jollès, La structure chimique du lysozyme de blanc d'oeuf de poule: Étude détaillée, *Biochim. Biophys. Acta* 78, 668-689 (1963).
- 3 R. E. Canfield and A. K. Liu, The disulfide bonds of egg white lysozyme (Mauramidase), *J. Biol. Chem.* 240, 19997-2002 (1965).
- 4 D. C. Philips, The hen egg-white lysozyme molecule, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 57, 484-495 (1967).
- 5 R. E. Dickerson, X-ray analysis and protein structure, in *The Proteins*, 2d ed., H. Neurath, ed. (New York: Academic Press, 1964), vol. 2, p. 634.
- 6 *Atlas of Protein Sequence and Structure*, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), pp. D133, D134.
- 7 C. Ponnamperna and N. W. Gabel, Current status of chemical studies on the origin of life, *Space Life Sciences* 1, 64-96 (1968); C. N. Matthews and R. E. Moser, Peptide synthesis from hydrogen cyanide and water, 215, 1230-1234 (1967); C. U. Lowe, R. W. Rees, and R. Markham, Synthesis of complex organic compounds from simple precursors: formation of amino acids, amino acid polymers, fatty acids and purines from ammonium cyanide, *Nature* 199, 219-222 (1963).
- 8 R. V. Eck and M. O. Dayhoff, Evolution of the structure of ferredoxin based on living relics of primitive amino acid sequences, *Science* 152, 363-366 (1966).

Chapter 21, Gene Splinting

- 1 G. Schramm, H. Gdtsch, and W. Pollmann, Non-enzymatic synthesis of polysaccharides, nucleosides and nucleic acids and the origin of self-reproducing systems, *Angew. Chem. Intl. Ed.* 1, 1-7 (1962); A. W. Schwadtz and S. W. Fox, Condensation of cytidylic acid in the presence of polyphosphoric acid, *Biochim. Biophys. Acta* 134, 9-16 (1967).
- 2 A. Kornberg, *Enzymatic Synthesis of Deoxyribonucleic Acid* (New York: Academic Press, 1961).
- 3 J. Sulston, R. Lohrmann, L. E. Orgel, and H. T. Miles, Non-enzymatic synthesis of oligoadenylates on a polyuridylic acid template, *Proc. Nat.*



- Acad. Sci. 59, 726-733 (1968).
- 4 B. J. Weismann, R. Lohrmann, L. E. Orgel, E. Schneider-5'-phosphorimidazolide, *Science* 161, 387 (1968).
 - 5 M. Renz, R. Lohrmann, and L. E. Orgel, Catalysts for the polymerization of adenosine cyclic 2', 3'-phosphate on a poly (U) template, *Biochim. Biophys. Acta* 240, 463-471 (1973).
 - 6 M. S. Verlander, R. Lohrmann, and L. E. Orgel, Catalysts for the self-polymerization of adenosine cyclic 2', 3'-phosphate, *J. Mol. Evol.* 2, 303-306 (1973).
 - 7 C. M. Tapiero and J. Nagyvary, Prebiotic formation of cytidine nucleotides, *Nature* 231, 42-43 (1971).
 - 8 J. Skoda, J. Morávek, and J. Kopecky, Sixth FEBS Meeting Abst., 433 (1969).
 - 9 O. Pongs and P. O. P. T'so, Polymerization of 5'-deoxyribonucleotides with B-imidazolyl-4(5)-propanoic acid, *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 36, 475-481 (1971).
 - 10 J. Ibanez, A. P. Kimball, and J. Oró, the effect of imidazole, cyanamide, and polyornithine on the condensation of nucleotides in aqueous solutions, in *Chemical Evolution and the Origin of Life*, R. Buve and C. Ponnamperna, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1971), pp. 171-179.
 - 11 Ibid.
 - 12 J. D. Ibanez, A. P. Kimball, and J. Oró, Condensation of mononucleotides by imidazole, *J. Mol. Evol.* 1, 112-114 (1971).
 - 13 E. Stephen-Sherwood, D. G. Odom, and J. Oró, The prebiotic synthesis of deoxythymidine oligonucleotides, *J. Mol. Evol.* 3, 323-330 (1974).
 - 14 K. L. Agarwal, H. Büch, M. H. Caruthers, N. Gupta, H. G. Khorana, K. Kleppe, A. Kumar, E. Ohtsuka, W. L. Ra bhanary, J. H. Van de Sande, V. Sgaramella, H. Weber, and T. Yamada, Total synthesis of the gene for an alanine transfer ribonucleic acid from yeast, *Nature* 237, 27-34 (1970).

Chapter 22. "Particles of Life"

- 1 M. Traube, Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endomose, *Arch. für Anat. Physiol. und Wiss. Med.* 87, 129-165 (1867).
- 2 O. Bütschli, Untersuchungen über microscopische Schäume und das Protoplasma (Leipzig, 1892).
- 3 L. Rhumbler, Aus dem Lückengebiet zwischen organischer und anorganischer Materie, *Ergebn. Anat. Entwicklungsgesch.* 15, 1-38 (1906).



- 4 S. Le Duc, *The Mechanism of Life*, trans. W. Deane Butcher (New York: Rebman Co., 1914).
- 5 Martin Kuckuck, *L'universe, être vivant. La solution des problèmes de la matière et la vie à l'aide de la biologie universelle* (Geneva: Librairie Kündig, 1911).
- 6 Wo. Ostwald and R. Köhler, Ueber die flüssige Endmischung von Gelatine durch Sulfosalizylsäure and über die Beziehungen dieses Systems zur Phasenregel, *Kolloid Z.* 43, 131-150 (1927).
- 7 H. G. Bungenberg de Jong, Die Konzervation und ihre Bedeutung für die Biologie, *Protoplasma* 15, 110-173 (1932).
- 8 A. I. Oparin, *The Origin of Life*, trans. S. Morgulis (New York: Macmillan, 1938).
- 9 A. I. Oparin, Biochemical processes in the simplest structures, in *The Origin of Life on the Earth*, F. Clark and R. L. M. Synge eds. (New York: Pergamon Press, 1959), pp. 428-436.
- 10 A. I. Oparin, the pathways of the primary development of metabolism and artificial modeling of this development in coacervate drops, in *The Origins of Prebiological Systems*, S. W. Fox, ed. (New York: Academic Press, 1965), pp. 331-348.
- 11 A. L. Herrera, A new theory of the origin and nature of life, *Science* 96, 14 (1942).
- 12 K. A. Grossenbacher and C. A. Knight, Amino acids, peptides, and spherules obtained from "primitive earth" gases in a sparking system, pp. 173-186.
- 13 C. I. Simionescu, F. Dénes, and M. Macoveau, Synthesis of some amino acids, sugars and peptides in cold plasma. Electron-microscopic studies on some proteid forms (III), *Biopolymers* 12, 237-241 (1973).
- 14 A. E. Smith, J. J. Silver, and G. Steinman, Cell-like structures from simple molecules under simulated primitive earth conditions, *Experientia* 24, 36-38 (1968).
- 15 S. W. Fox, K. Harada, and J. Kendrick, Production of spherules from synthetic proteinoid and hot water, *Science* 129, 1221-1223 (1959).
- 16 S. W. Fox and S. Yuyama, Effects of the Gram stain on microspheres from thermal polyamino acids, *J. Bacteriol.* 85, 279-283 (1963).
- 17 S. W. Fox, R. J. McCauley, and A. Wood, A model of primitive heterotrophic proliferation, *Comp. Biochem. Physiol.* 20, 773-778 (1967).
- 18 S. W. Fox and S. Yuyama, Abiotic product of primitive protein and formed microparticles, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 108, 487-494 (1963).
- 19 L. L. Hsu, S. Brooke, and S. W. Fox, Conjugation of proteinoid micro-



- spheres: a model of primordial communication, *Curr. Mod. Biol.* 4, 12 (1971).
- 20 L. L. Hsu, and S. W. Fox, Interaction between diverse proteinoids and microspheres in simulation of primordial evolution. *Biosystems* 8, 89-101 (1977).
 - 21 J. D. Bernal, *The Origin of Life* (London: Weidenfeld and Nicholson, 1967), p. 125.
 - 22 S. W. Fox, R. J. McCauley, P. Montgomery, T. Fukushima, K. Harada, and C. R. Windsor, Membrane-like properties in microsystems assembled from synthetic protein-like polymers, in *Physical Principles of Biological Membranes*, F. Snell, J. Wolken, G. Iverson, and J. Lam, eds. (New York: Gordon and Breach, 1969), pp. 417-432.
 - 23 W. Stillwell, Facilitated diffusion of amino acids across bimolecular lipid membranes as a model for selective accumulation of amino acids in a primordial protocell, *Biosystems* 8, 111-117 (1976).
 - 24 Lynn Margulis, ed., *Origins of Life*, (New York: Gordon and Breach, 1970), p. 157.
 - 25 S. W. Fox, Simulated natural experiments in spontaneous organization of morphological units from proteinoid, in *The Origins of Prebiological Systems*, pp. 361-382.
 - 26 K. Bahadur and S. Ranganayak, Synthesis of Jeewanu. The units capable of growth, multiplication and metabolic activity. I. Preparation of units capable of growth and division and having metabolic activity, *Zentbl. Bakt. Parasitkde.* (II) 117, 567-574 (1964).
 - 27 K. Bahadur, Synthesis of Jeewanu. The units capable of growth, multiplication and metabolic activity. III. Preparation of microspheres capable of growth and division by building and having metabolic activity with peptides prepared thermally, *Zentbl. Bakt. Parasitkde.* (II) 117, 585-602 (1962).
 - 28 A. I. Oparin, *Genesis and Evolutionary Development of Life* (New York: Academic Press, 1968), pp. 127-151.
 - 29 S. W. Fox, Origin of the cell: experiments and premises, *Naturwiss.* 60, 349-368 (1973).

Chapter 23. The Vital Envelope

- 1 A. D. Bangham and R. W. Horne, Negative staining of phospholipids and their structural modification by surface active agents as observed in the electron microscope, *J. Mol. Biol.* 8, 660-668 (1964).
- 2 W. Stillwell, Facilitated diffusion of amino acids across bimolecular



- lipid membranes as a model for selective accumulation of amino acids in a primordial protocell, *Biosystems* 8, 111-117 (1976).
- 3 William Stillwell and Aruna Rau, Primordial transport of sugars and amino acids via Schiff bases, *Origins of Life* 11, 243-254 (1981).
 - 4 William Stillwell, Facilitated diffusion as a method for selective accumulation of materials from the primordial oceans by a lipid-vesicle protocell, *Origins of Life*, 10, 277-292 (1980).
 - 5 R. J. Goldacres, Surface films, their collapse on compression, the shapes and sizes of cells and the origin of life, in *Surface Phenomena in Chemistry and Biology*, J. F. Danielli, K. G. A. Pankhurst, and A. C. Riddiford, eds. (New York: Pergamon Press, 1958), pp. 278-298.
 - 6 W. R. Hargreaves, S. J. Mulvhill, and D. W. Deamer, Synthesis of phospholipids and membranes in prebiotic conditions, *Nature* 266, 78-80 (1977).
 - 7 W. R. Hargreaves and D. W. Deamer, Origin and early evolution of bilayer membranes, in *Light Transducing Membranes: Structure, Function, and Evolution*, D. W. Deamer, ed. (New York: Academic Press, 1978).
 - 8 D. W. Deamer and G. L. Burchfield, Encapsulation of macromolecules by lipid vesicles under simulated prebiotic conditions, *J. Mol. Evol.* 18, 203-204 (1982).
 - 9 D. W. Deamer, personal communication.

Chapter 24. The Emergence of Cells

- 1 D. A. Usher, Early chemical evolution of nucleic acids: a theoretical model, *Science* 196, 311-313 (1977).
- 2 W. Stillwell, On the origin of photophosphorylation, *J. Theor. Biol.* 65, 479-497 (1977).
- 3 *Atlas of Protein Sequence and Structure*, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), pp. 111-117.
- 4 F. H. C. Crick, S. Brenner, A. Klug, and G. Pieczenik, A speculation on the origin of protein synthesis, *Origins of Life* 7, 389-397 (1976).
- 5 R. V. Eck and M. O. Dayhoff, Evolution of the structure of ferredoxin based on living relics of primitive amino acid sequences, *Science* 152, 363-366 (1966).
- 6 P. J. McLaughlin and M. O. Dayhoff, Eukaryotes versus prokaryotes: an estimate of evolutionary distance, *Science* 168, 1469-1471 (1970).
- 7 *Atlas of Protein Sequence and Structure*, vol. 5, p. 116.



Chapter 25. The Phenomenal Cell

- 1 Philip H. Abelson, Chemical events on the primitive earth, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 55, 1365-1372 (1966).
- 2 H. J. Morowitz, Physical background of cycles in biological systems, *J. Theor. Biol.* 13, 60-62 (1966).
- 3 Ch. Degani and M. Halmann, Chemical evolution of carbohydrate metabolism, *Nature* 216, 1207 (1967).
- 4 K. Decker, K. Decker, K. Jungermann, and R. K. Thauer, Wege der Energiegewinnung in Anaerobiern, *Angew. Chem.* 82, 153-173 (1970).
- 5 R. Bachofen, B. B. Buchanan, and D. I. Arnon, Ferredoxin as a reductant in pyruvate synthesis by a bacterial extract, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 51, 690-694 (1964).
- 6 W. E. Balch, L. Magrum, G. Fox, R. Wolfe, and C. Woese, An ancient divergence among bacteria, *J. Mol. Evol.* 9, 305-311 (1977).
- 7 Carl R. Woese, A comment on methasogestic bacteria and the primitive ecology, *J. Mol. Evol.* 9, 369-371 (1977).
- 8 F. R. Japp, Stereochemistry and vitalism, *Nature* 58, 452 (1898).
- 9 J. B. Van't Hoff, *The Arrangement of Atoms in Space*, 2d ed. (London: Longmans, 1898).
- 10 W. Kuhn and E. Braun, Photochemische Erzeugung optisch aktiver Stoffe, *Naturwiss.* 17, 227-228 (1929).
- 11 K. Harada, Origin and development of optical activity of organic compounds on primordial earth, *Naturwiss.* 57, 114-119 (1970).
- 12 F. Vester, T. I. V. Ulbricht, and A. W. Susyar, Evidence for circular polarization of Bremsstrahlung produced by beta rays, *Phys. Rev.* 106, 826-829 (1957).
- 14 H. P. Noyes, W. A. Bonser, and J. A. Tomlin, On the origin of biological chirality via natural beta-decay, *Origins of Life* 8, 21-23 (1977).
- 15 S. L. Miller and L. E. Orgel, *The Origins of Life on the Earth* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1974), p. 171.
- 16 G. Wald, Origin of optical activity. *Ass. N.Y. Acad. Sci.* 69, 352-368 (1957).
- 17 Harold F. Blum, *Time's Arrow and Evolution*, 2d ed. (New York: Harper and Bros., 1962), p. 172.

Chapter 26. Other Ways, Other Places

- 1 M. E. Jones and F. Lipmann, Chemical and enzymatic synthesis of carbamyl phosphate, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 46, 1194-1205 (1960).



- 2 I. S. Kulaev, Inorganic polyphosphates in evolution of phosphorus metabolism, in *Chemical Evolution and the Origin of Life*, R. Buve and C. Ponnampereuma, eds. (Amsterdam: North-Holland Publ. Co. 1971), pp. 458-465.
- 3 H. Baltscheffsky, Inorganic phosphates and the origin and evolution of biological energy transformation, in *Chemical Evolution and the Origin of Life*, pp. 466-473.
- 4 *Atlas of Protein Sequence and Structure*, vol. 5, M. O. Dayhoff, ed. (Washington, D.C.: National Biomedical Research Foundation, 1972), p. 117.
- 5 W. Gevers, H. Kleinkauf, and F. Lipmann, The activation of amino acids for biosynthesis of gramicidin S, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 60, 269-276 (1968); Gevers, Kleinkauf, and Lipmann, Interrelationship between activation and polymerization of gramicidin S biosynthesis, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 62, 226-233 (1969).
- 6 R. Roskoski, Jr., H. Kleinkauf, W. Gevers, and F. Lipmann, Nonribosomal polypeptide synthesis: activation and condensation of amino acids in tyrocidin formation, *Fed. Proc.* 29, 468 (1970).
- 7 W. Gevers, H. Kleinkauf, and F. Lipmann, Peptidyl transfers in gramicidin S biosynthesis from enzyme-bound thioester intermediates, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 63, 1335-1342 (1969).
- 8 R. A. Gibbons and G. D. Hunter, Nature of the scrapie agent, *Nature* 215, 1041-1043 (1967).
- 9 J. S. Griffith, Self-replication and scrapie, *Nature* 215, 1043-1044 (1967).
- 10 J. B. McClendon, Elemental abundances as a factor in the origins of mineral nutrient requirements, *J. Mol. Evol.* 8, 175-195 (1976).
- 11 A. G. Cairns-Smith, The origin of life and the nature of the primitive gene, *J. Theoret. Biol.* 10, 53-88 (1965).
- 12 P. J. E. Peebles, The structure and composition of Jupiter and Saturn, *Astrophys. J.* 140, 328-347 (1964).
- 13 Cited in R. Wildt, H. J. Smith, E. E. Salpeter, and A. G. W. Cameron, The planet Jupiter, *Physics Today* 16, 19-23 (May 1963).
- 14 *Ibid.*
- 15 F. Woeller and C. Ponnampereuma, Organic synthesis in a simulated Jovian atmosphere, *Icarus* 10, 386-392 (1969).

Chapter 27. Organic Compounds in the Universe

- 1 J. J. Berzelius, Ueber Meteorsteine, *Ann. Phys. und Chem.* 33, 113 (1834).



- 2 F. Wöhler, Über die Bestandteile des Meteorsteines von Kaba in Ungarn, Sitz. Math. Naturwiss. Akad. Wien 33, 205-209 (1859).
- 3 S. Cloëz, Note sur la composition chimique de la pierre météorique d'Orgueil, Compt. rend. 58, 986 (1864); S. Cloëz, Analyse chimique de la pierre météorique d'Orgueil, Compt. rend. 59, 37 (1864).
- 4 P. Berthelot, La matière carbonneuse de la météorite d'Orgueil purifiée autant que possible par les dissolvants, s'est ensuite oxydée entièrement, J. Parkt. Chem. 106, 254 (1869).
- 5 G. Mueller, The properties and theory of genesis of the carbonaceous complex within the cold bokevelt meteorite, Geochim. Cosmochim. Acta 4, 1-10 (1953).
- 6 B. Mason, Origin of chondrules and chondritic meteorites, Nature 186, 230-231 (1960).
- 7 B. Nagy, W. G. Meinschein, and D. J. Hennessy, Mass spectroscopic analysis of the Orgueil meteorite: evidence for biogenic hydrocarbons, Ann. N. Y. Acad. Sci. 93, 25-35 (1961).
- 8 G. Claus and B. Nagy, A microbiological examination of some carbonaceous chondrites, Nature 192, 594-596 (1963).
- 9 Edward Anders, Meteoritic hydrocarbons and extraterrestrial life, Ann. N. Y. Acad. Sci. 93, 649-664 (1963).
- 10 M. H. Briggs and G. Mamikunian, Organic constituents of carbonaceous chondrites, Science 149, 1455-1459 (1965).
- 12 E. Anders, Origin, age, and composition of meteorites, Space Sci. Rev. 3, 583-714 (1964).
- 13 Studier, Hayatsu, and Anders, Organic compounds in carbonaceous chondrites.
- 14 M. O. Dayhoff, E.R. Lippincott, and R. V. Eck. Thermodynamic equilibria in prebiological atmospheres, Science 146, 1461-1464 (1964).
- 15 A. C. Cheung, D. M. Rank, C. H. Townes, D.D. Thornton, and W. J. Welch, Detection of NH_3 molecules in the interstellar medium by their microwave emission, Phys. Rev. Letters 21, 1701-1705 (1968).
- 16 A. C. Cheung, D. M. Rank, C. H. Townes, D. D. Thornton, and W.J. Welch, Detection of water in interstellar regions by its microwave radiation, Nature 221, 626-628 (1969).
- 17 L. E. Snyder and D. Buhl, Water-vapor clouds in the interstellar medium, Astrophys. J. 155, 165-170 (1969).
- 18 R. W. Wilson, K. B. Jeffreys, and A. A. Penzias, Carbon monoxide in the Orion Nebula, Astrophys. J. 161, 143-144 (1970).
- 19 L. E. Ssyder and D. Buhl, Radio emission from HCN, IAU Circular no. _____



- 2251 (1970).
- 20 L. E. Snyder, D. Buhl, B. Zuckerman, and P. Palmer, Microwave detection of interstellar formaldehyde, *Phys. Rev. Letters* 22, 679-681 (1969).
 - 21 B. B. Turner, Radio emission from interstellar cyan#ethylene, *IAU Circular* no. 2268 (1970).
 - 22 David Buhl, Chemical constituents of interstellar clouds, *Nature* 234, 332-334 (1971).
 - 23 F. Fitch, H. P. Scharcz, and E. Anders, "Organized elements" in carbonaceous chondrites, *Nature* 193, 1123-1125 (1962).
 - 24 Michael H. Briggs and G. Barrie Kitto, Complex organic microstructures in the Mokoia meteorite, *Nature* 193, 1126-1127 (1962).
 - 25 B. Nagy, G. Claus, and D. Hennessy, Organic particles embedded in minerals in the Orgueil and Ivuna carbonaceous chondrites, *Nature* 193, 1129-1133 (1962).
 - 26 F. W. Fitch and E. Anders, Observations on the nature of the "organized elements" in carbonaceous chondrites, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 108,
 - 27 E. T. Degens and M. Bajor, Amino acids and sugars in the Bruderheim and Murray meteorites, *Naturwiss.* 49, 605-606 (1962).
 - 28 I. R. Kaplan, E. T. Degens, and J. H. Reuter, Organic compounds in stony meteorites, *Geochim. Cosmochim. Acta* 27, 805-834 (1963).
 - 29 Paul B. Hamilton, Amino acids in hands, *Nature* 205, 284-285 (1965).
 - 30 J. Oró and H. B. Skewes, Free amino acids on human fingers: the question of contamination in microanalysis, *Nature* 207, 1042-1045 (1965).
 - 31 K. Kvenvolden, J. Lawless, K. Pering, E. Peterson, J. Flores, C. Ponnampereuma, I. R. Kaplan, and C. Moore, Evidence for extraterrestrial amino acids and hydrocarbons in the Murchison meteorite, *Nature* 228, 923-926 (1970).
 - 32 K. . Kvenolden, J. G .Lawless, and C. Ponnampereuma, Non-protein amino acids in the Murchison meteorite, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 68, 486 (1971).
 - 33 G. Dungworth, Optical configuration and the racemization of amino acids in sediments and fossils, *Chem. geol.* 17(2), 135-153 (1976).
 - 34 S. W. Fox and K. Harada, Accumulated analysis of amino acid precursors in returned lunar samples, in *Proceedings of the Fourth Lunar Science Conference*, *Cosmochim. Acta*, vol. 2, suppl. 4 (New York: Pergamon Press, 1973), pp. 2241-2248.

Chapter 28. Gaia

- 1 Preston Cloud and Aharon Gibor, The oxygen cycle, *Sci. Amer.* 223(3), 110-123 (1970).
- 2 J. E. Lovelock, Gaia as seen through the atmosphere, *Atmos. Environ.* 6, 579-580 (1972); J. E. Lovelock and L. Margulis, Homeostatic tendencies of the Earth's atmosphere, *Origins of Life* 1, 12-22 (1974); James Lovelock and Lynn Margulis, Atmosphere homeostasis: The Gaia Hypothesis, *Tellus* 26, 1-10 (1974); James Lovelock and Sydney Epton, The quest for Gaia, *The New Scientist* 65, 304-309 (1975); Lynn Margulis and James E. Lovelock, The atmosphere as circulatory system of the biosphere—The Gaia Hypothesis, *The CoEvolution Quarterly* (Summer, 1975), pp. 31-41.

SELECT BIBLIOGRAPHY

- Bernal, J. D. *The Origin of Life*, London: Weidenfeld and Nicholson, 1967.
- Blum, H. F. *Time's Arrow and Evolution*. New York: Harper and Row, 1962.
- Brooks, J., and G. Shaw. *Origin and Development of Living System*. New York: Academic Press, 1973.
- Calvin, M. *Chemical Evolution*. New York and Oxford: Oxford University Press, 1969.
- Fox, S. W., ed. *The Origins of Prebiological Systems*. New York: Academic Press, 1965.
- Fox, S. W., and K. Dose. *Molecular Evolution and the Origins of Life*. San Francisco: W. H. Freeman & Co., 1972.
- Kenyon, D. H., and G. Steinman. *Biochemical Predestination*. New York: McGraw-Hill Co., 1969.
- Kveolden, K. A. ed. *Geochemistry and the Origin of Life*. New York: Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., 1974.
- Miller, S. L., and L. Orgel. *The Origins of Life on the Earth*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1974.

L

Oparin, A. I. *Genesis and Evolutionary Development of Life*. New York: Academic Press, 1968.

———. *The Chemical Origin of Life*. Springfield, Ill.: Chas. C. Thomas, 1964.

Journals on the Origin of Life

Origins of Life

Biosystems

J. Molecular Evolution

J. Precambrian Research

The italicized numbers refer to the pages where the reference article is cited.

Abelson, P. H., 154, 156, 157, 158, Bloeser, B., 24, 266
272, 273, 278

Agarwal, K. L., 276

Aggar, J., 268, 271

Akabori, S., 172, 176, 275

Allen, M. B., 121, 271

Altmann, R., 88, 269

Amons, R., 270

Anders, E., 248, 249, 251, 280, 281

Arnon, D. I., 121, 268, 271, 279

Asimov, I., 143, 271

Atzelius, B. A., 269

Avery, O. T., 58, 267

Bachofen, R., 268, 279

Bahadur, K., 204, 277, 278

Bajor, M., 251, 281

Balbiano, L., 168, 274

Balch, W. E., 270, 279

Baltscheffsky, H., 237, 279

Bangham, A. D., 278

Banin, A. D., 272

Blombäck, B., 19, 268

Blum, H. F., 234, 279, 287

Bonen, L., 269, 270

Bonner, W.A., 232, 279

Borek, E., 267

Borzook, H., 67, 268

Bowers, B., 270

Bracht, J., 67, 268

Branson, H. R., 275

Braun, E., 279

Braverman, G., 267

Breed, W. J., 24, 266

Brenner, S., 279

Briggs, M. H., 249, 280, 281

Britten, R. J., 131, 271

Brock, C.J., 269

Brock, T. D., 270

Brooke, S., 277

Brooks, J., 21, 266, 274, 287

Bryson, V., 268



- Barghoorn, E. S., 19, 20, 21, 24, 83, 265, 266
 Barnabas, J., 270
 Bar-Nun, A., 155, 273
 Bar-Nun, N., 273
 Barrell, B. G., 271
 Bauer, S. H., 273
 Beadle, G. W., 59, 267
 Bell, P. R., 269
 Benrath, A., 274
 Benson, A. A., 272
 Berger, J., 275
 Berkner, L. W., 97, 269
 Bernal, J. D., 151, 173, 175, 203, 272, 275, 277, 287
 Bernier, I., 275
 Berthelot, P., 150, 247, 280
 Berzelius, J. J., 49, 50, 51, 149, 245, 246, 280
 Blakemore, K., 270
 Büch, H., 276
 Buchanan, B. B., 268, 279
 Buhl, D., 249, 281
 Bungenberg de Jong, H. G., 199, 277
 Burchfield, G. L., 214, 278
 Burris, R. H., 270
 Bütschli, O., 198, 277
 Buvet, R., 272, 276, 279
 Byers, B., 267
 Cairns, J., 267
 Cairns-Smith, A. G., 241, 280
 Calvin, M., 152, 266, 272, 287
 Cameron, A. G. W., 265, 267, 280
 Cammack, R., 268, 271
 Canfield, R. E., 182, 275
 Carlie, M. J., 270
 Carothers, W. H., 168, 274
 Carpenter, P. L., 269

Author Index

- Caruthers, M. H., 276
 Caspersson, T., 67, 268
 Chamblis, G., 271
 Chang, S., 175, 275
 Chappell, W. R., 272
 Chargaff, E., 63, 267
 Chen, K. N., 270
 Cheung, A. C., 249, 280
 Claggert, A. K., 275
 Clark, F., 272, 277
 Clark, B. F., 272, 277
 Claus, G., 248, 249, 251, 280, 281
 Clifton, C. E., 269
 Cloëz, S., 247, 280
 Cloud, P. E., 23, 24, 97, 223, 265, 269, 281
 Dose, K., 175, 272, 274, 275, 287
 Draganic, I. G., 275
 Draganic, Z. D., 275
 Drake, E. T., 269
 Drew, C. M., 266
 Dungworth, G., 281
 Dunlop, J. S. R., 266
 Dyer, T. A., 270
 Eck, R. V., 82, 221, 268, 276, 278, Eglinton, G., 268
 Eigen, M., 175, 275
 Emerich, D. W., 270
 Engel, A. E. J., 21, 266
 Engel, E. G., 266
 Epstein, S., 14, 265, 267



- Conti, S. F., 270
 Corey, R. B., 179, 267, 275
 Couch, J., 172, 275
 Cox, A. C., 162, 273
 Craven, G. R. 271
 Crick, F. H. C., 64, 66, 68, 152, 221, 267, 271, 278
 Curnow C. N., 265
 Curtius, T., 274

 Daly, O., 268
 Danielli, J. E., 278
 Darland, G., 270
 Davies, J., 271
 Dayhoff, M. O., 76, 82, 101, 104, 186, 220, 221, 223 249, 268, 270, 271, 276, 278, 279, 280
 Deamer, D. W., 212, 213, 214, 278
 Deasy, C. L. 268
 Decker, K., 279
 Degani, Ch., 228, 279
 Degens, E. T., 251, 281
 Delange, R. J., 269
 DeMoulin, V., 270
 Dénes, F., 172, 201, 275, 277
 Dickerson, R. E., 276
 Dixon, M., 271
 Dodonova, M. Ya., 272
 Doolittle, R. F., 79, 268
 Doolittle, W. F., 91, 269

 Epton, S., 281
 Everett, G. A., 268, 271

 Ferris, J. P., 160, 273, 275
 Fischer, E., 168, 180-81, 274
 Fitch, F. W., 251, 281
 Fitch, W. M., 76, 77, 268
 Flores, J., 281
 Fox, G. E., 269, 270, 279
 Fox, S. W., 168, 202, 203, 204, 271, 273, 274, 276, 277, 278, 281, 287
 Fraekel-Contrat, H., 271
 Frair, W. F. 271
 Friedmann, N., 272
 Fukushima, T., 277

 Gabel, N. W., 273, 276
 Garrison, W. M., 272
 Gevers, W., 279
 Gibor, A., 265, 281
 Gibson, J., 270
 Gildrich, S. S., 265
 Glaessner, M. F., 265
 Goldacre, R. J., 210, 211, 278
 Goldhaber, M., 232, 279
 Goldring, G., 265
 Goulian, M., 267
 Griffith, J. S., 239, 279
 Grodzins, L., 279
 Grossenbacher, K. A., 201, 274, 277

Author Index

- Groth, W., 272
 Grotsch, H., 276
 Groves, D. I., 266
 Gupta, R., 270
 Gupta, N., 276

 Lahav, N., 175, 275
 Lam, J., 277
 Langworthy, T. A., 270
 Lawless, J. G., 160, 273, 281
 Leakety, L. S. B., 268
 LeDuc, S., 198, 203, 277



- Hagen-Smit, A. J., 268
 Haldane, J. B. S., 151, 272
 Hall, D. O., 144, 268, 271
 Halmann, M., 228, 279
 Hamilton, J. G., 272
 Hamilton, P. B., 252, 281
 Han, J., 266
 Harada, K., 168, 169, 202, 274, 277, 279, 281
 Hargreaves, W. R., 212, 213, 215, 278
 Harris, J. W. R., 212, 213, 215, 278
 Harris, J. I., 269
 Haverland, W. J., 272
 Hayatsu, R., 249, 280
 Hennessy, D. J., 248, 251, 280, 281
 Herrara, A. L., 201, 202, 277
 Hespell, R. B., 270
 Hill, R., 118, 271
 Hofmeister, F., 168, 274
 Holley, R. W., 68, 141, 268, 271
 Holtfreter, J., 34, 267
 Horne R. W., 278
 Horodyski, R. J., 24, 266
 Hsu, L. L., 277
 Hunter, G. D., 279

 Ibanez, J., 193, 276
 Ingram, V. M., 75, 268
 Ireland, H. A., 275
 Iverson, G., 277

 Janekovic, D., 271
 Japp, F. R., 231, 279
 Jaureui-Adell, J., 275
 Jecreys, K. B., 280
 John, P., 269
 Johnson, W. A., 271
 Jollès, J., 275
 Jollès, J. B., 270

 Lehninger, A. L., 271
 Leigh, G. J., 270
 Levine, J. S., 269
 Lewis, B. J., 269, 270
 Licari, G. R., 24, 266
 Lin, Y., 268
 Lipmann, F., 112, 237, 238, 271, 279
 Lippincott, E. R., 280
 Liu, A. K., 275
 Lohrmann, R., 165, 190, 191, 274, 276
 Lopuchin, A. S., 266
 Lovelock, J. E., 260, 281
 Lowe, C. U., 160, 273, 276
 Lowry, P. H., 268
 Luck, D. J. L., 269
 Luehrsen, K. R., 270

 Mack, R., 273
 MacLeod, C. M., 267
 Macoveau, M., 201, 277
 Madison, J. T., 268, 271
 Magrum, L. J., 270, 279
 Mamikunian, G., 249, 280
 Maniloff, J., 270
 Margoliash, E., 76, 77, 268
 Margulis, L., 93, 94, 95, 98, 99, 145, 260, 269, 270, 271, 277, 281
 Markham, R., 273, 276
 Marquisse, M., 268, 271
 Marsden, B. G., 265, 267
 Marshall, L. C., 97, 269
 Mason, B., 248, 273, 280
 Matheson, A. T., 270
 Matthaël, J. H., 268
 Matthews, C. N., 171, 172, 274, 275, 276
 McCarty, M., 267
 McCauley, R. J., 277
 McClendon, J. B., 144, 145, 240, 271, 272, 280



- Jones, M. E., 237, 279
 Joshi, J. C., 160, 273
 Jukes, T. H., 79, 268, 272
 Jovanovic, S., 275
 Jungermann, K., 279

 Kahan, L., 271
 Kamat, S. S., 157, 273
 Kandler, O., 270
 Kaplan, I. R., 251, 252, 281
 Katchalsky, A., 174, 275
 Kates, M., 270
 Keighley, G., 268
 Kendrick, J., 202, 277
 Kenyon, D. H., 287
 Kerin, L., 267
 Khare, B. N., 155, 171, 272, 274
 Khorana, H. G., 195, 276
 Kimball, A. P., 160, 193, 273, 276
 Kimura, M., 75, 78, 268
 King, J. L., 79, 268
 Kirk, P., 273
 Kitto, G. B., 251, 281
 Kleinkauf, H., 279
 Kleppe, K., 276
 Knauth, L. P., 14, 265, 267
 Knight, C. A., 201, 274, 277
 Knoll, A. H., 24, 266
 Knopf, A., 265
 Koenyves, I., 274
 Köhler, R., 277
 Kohne, D. E., 131, 271
 König, H., 270
 Kopecky, J., 276
 Kornberg, A., 66, 189, 267, 276
 Kovacs, J., 274
 Krauch, H., 279
 Krebs, H. A., 126, 271
 Kremp, G. O. W., 266
 Krewson, C., 172, 275

 McLaughlin, P. J., 223, 278
 Meglen, R. R., 272
 Meinschein, W. G., 248, 280
 Merrill, S. H., 268, 271
 Middlebrook, M., 274
 Miescher, F., 58, 267
 Miles, H. T., 276
 Miller, S. L., 2, 3, 5, 152, 165, 245, 265, 272, 273, 279, 287
 Millot, G., 275
 Milne, V. A., 266
 Minard, R. D., 274, 275
 Moller, W., 271
 Montgomery, P., 277
 Moorbth, S., 265
 Moore, C., 252, 281
 Moravek, J., 276
 Morowitz, H. J., 271, 279
 Morris, J. G., 269
 Morrison, D. C., 272
 Mortensen, L. E., 268
 Moscona, A., 267
 Moscona, H., 267
 Moser, R. E., 171, 274, 275, 276
 Mueller, G., 247, 248, 280
 Mühlethaler, K., 269
 Muir, M. D., 21, 266
 Mulvihill, S. J., 212, 278
 Murphy, M. T. J., 268

 Nagy, B., 248, 249, 251, 266, 280, 281
 Nagyvary, J., 191, 276
 Nass, M. M., 269

 Nathan, H., 268
 Navrot, J., 272
 Negulescu, I., 275
 Nelson, J., 275
 Neurath, H., 276
 Nirenberg, M. W., 268



Kropokin, P., 273
Kuckuck, M., 199, 277
Kuhn, W., 279
Kulaev, I. S., 237, 279
Kumar, A., 276
Hung, H., 268
Kushwaba, S. C., 270
Kvenolden, K. A., 266, 281, 287

Nomura, M., 271
Noones, D. W., 266
Noyes, H. P., 232, 279
Nursall, J. R., 269

Odom, D. G., 194, 276
Oehler, D. Z., 23, 27, 266
Ohta, T., 77, 268

Author Index

Ohtsuka, E., 276
O'Nions, R. K., 265
Oparin, A. I., 2, 150, 200, 201, 204,
265, 272, 273, 275, 277, 278, 287
Orgel, L. E., 160, 165, 188, 189, 190,
191, 271, 273, 274, 276, 279, 287
Oró, J., 157, 160, 162, 188, 191, 193,
194, 252, 266, 273, 276, 281
Osterberg, R., 165, 274
Ostwald, Wo., 277

Paecht-Horowitz, M., 174, 175, 275
Palmer, P., 280
Pankhurst, K. G. A., 278
Pankhurst, R. J., 265
Parris, M., 165, 273
Pasynskii, A. G., 272
Patent, D. H., 267
Pauling, L., 64, 179, 267, 268, 275
Pavlovskaya, T. E., 272
Pechman, K. R., 269, 270
Peck, H. D., Jr., 270
Peebles, P. J. E., 28
Penswick, J. R., 268, 271
Penzias, A. A., 280
Perin, K., 281
Peterson, E., 281
Pflüg, H. D., 21, 266

Snell, F., 277
Snyder, L. E., 249, 280
Sogin, M., 270
Sprott, G. D., 270
Stadtman, T. C., 270
Stahl, D. A., 269, 270
Stahman, M., 274
Stakebrandt, E., 270
Stanley, W. M., 59, 267
Steinman, G., 277, 287
Stephen-Sherwood, E., 194, 276
Stetter, K. O., 271
Stiffel, P., 274
Stillwell, W., 209, 218, 219, 277, 278
Studier, M. H., 249, 280
Sturm, S., 271
Sulston, J., 276
Summer, J. B., 55, 267
Sunyar, A. W., 279
Synge, R. L. M., 272, 277

Tanner, R. S., 270
Tapiero, C. M., 191, 276
Tappan, H., 24, 266
Tatum, E. L., 59, 267
Terenin, A. N., 272
Thauer, R. K., 279
Thompson, E. O. P., 272



- Pflüger, E., 150, 272
 Phillips, D. C., 183, 184, 275
 Pieczenik, G., 278
 Plaut, W., 89, 269
 Pollmann, W., 276
 Pongs, O., 192, 276
 Ponnampuruma, C., 242, 272, 273, 274, 276, 280, 281
 Pusztai, A., 274

 Rajbhanary, W. L., 276
 Rawsky, B., 272
 Rambler, M., 98, 269
 Ranganayaki, S., 277
 Rank, D. M., 280
 Rao, K. K., 268, 271
 Rau, A., 278
 Rees, R. W., 273, 276
 Renz, M., 190, 276
 Reuter, J. H., 251, 281
 Rhumbler, L., 277
 Ribnikar, S. V., 275
 Rich, E., 269
 Riddiford, A. C., 278...
 Riley, M., 268
 Ris, H., 89, 269
 Roberts, K., 268
 Rohlfing, D. L., 274
 Rose, A. H., 269
 Roskoski, R., Jr., 279
 Rubey, W. W., 265, 273
 Runnelis, D. D., 272
 Russell, H. N., 272
 Rutten, M. G., 287

 Sagan, C., 155, 171, 242, 272, 273, 274
 Saltpeter, E. E., 280
 Samsonoff, W., 270

 Thornton, D. D., 280
 ...Tilden, J. E., 267
 Tomlin, J. A., 232, 279
 Townes, C. H., 280
 Trasciatti, D., 168, 274
 Trauble, M., 198, 276
 Trimble, V., 272
 Trowel, B. W., 266
 T'so, P. O. P., 192, 276
 Turner, B. B., 280
 Tyler, S. A., 19, 20, 265

 Uchida, T., 269, 270
 Ulbricht, T. I. V., 279
 Urey, H. C., 1, 2, 3, 265
 Usher, D. A., 217, 278

 Van de Sande, J. H., 276
 Van't Hoff, J. B., 52, 54, 231, 279
 Varma, P., 275
 Vegotsky, A., 168, 169, 274
 Verlander, M. S., 191, 276
 Vester, F., 279
 Vogel, H. J., 268
 von Weyssenhof, H., 272

 Wade, M., 265
 Waenheldt, T. V., 273
 Wald, G., 279
 Walker, J. C. G., 269
 Wallin, I. E., 89, 269
 Walter, M. R., 265
 Watson, J. D., 64, 66, 152, 267, 272
 Webb, E. C., 271
 Weber H., 276
 Weismann, B. J., 276
 Weiss, A., 175, 275
 Weiss, R. L., 270
 Welch, W. J., 280

- Sanchez, R. A., 160, 273
 Sanger, F., 152, 272
 Sarich, V. M., 268
 Scharcz, H. P., 281
 Schaup, H. W., 270
 Schidlowski, M., 270
 Schiff, H., 168, 274
 Schneider-Bernloehr, E., 276
 Schönefeld, U., 271
 Schopf, J. W., 20, 21, 23, 24, 266
 Schramm, G., 276
 Schrödinger, E., 267
 Schuster, F. L., 269
 Schwartz, A. W., 165, 273, 276
 Schwartz, R. M., 191, 270
 Searcy, D., 92, 269
 Sgaramella, V., 276
 Shaw, G., 274, 287
 Sidorova, A. I., 272
 Siegel, B. Z., 268
 Siegel, S. M., 83, 268
 Silver, J. J., 277
 Simionescu, C. I., 172, 201, 275, 277
 Sinsheimer, R. L., 267
 Skehel, J. J., 270
 Skewes, H. B., 252, 281
 Skoda, J., 276
 Smith, A. E., 277
 Smith, H. J., 280
 Smith, I. C. P., 270
 Whatley, F. R., 121, 269, 271
 Whatley, J. M., 267
 Wildt, R., 280
 Williams, J. W., 272
 Williams, R. C., 271
 Wilson, A. C., 268
 Wilson, E. B., 269
 Wilson, H. V., 34, 267
 Wilson, R. W., 280
 Windsor, C. R., 277
 Winitz, M., 274
 Woeller, F., 242, 280
 Woese, C. R., 104, 108, 269, 270, 271, 279
 Wöhler, F., 50, 53, 149, 245, 246, 280
 Wolfe, R. S., 105, 270, 279
 Wolken, J., 277
 Wood, A., 277
 Wooding, G. L., 268
 Yaguchi, M., 270
 Yamada, T., 276
 Yang, W., 275
 Yuyama, S., 277
 Zablen, L., 269, 270
 Zamenhof, S., 267
 Zamur, A., 268, 271
 Zillig, W., 271
 Zuckerkandl, E., 268
 Zuckerman, B., 280



- actinobacteria, 47 البكتيريا الشعاعية
- activation energy, 110, 111 طاقة التنشيط
- adenine, abiotic synthesis of, 160 التمثيل اللاحيوي للادنوسين
- adenosine 2', 3'-phosphate, 191 ثنائي وثلاثي فوسفات الادنوسين ،
- adenosine triphosphate. See ATP انظر ا ب ت
- aerobic breakdown of glucose, 126-28 التجزئة الهوائية للجلوكوز
- amino acids: chemical structures, 179; from ammonium cyanide, 160; in fingerprints, 252; in meteorites, 251-53; polymerization on clay, 174, 175; precursors in moon rocks, 254; produced in the Miller experiment, 153; substitution rate in proteins from mutation, 75; الحوامض الامينية : البنى الكيميائية • من سيانيد الامونيوم • في النيازك • تلمرهما على الصلصال • طلائعها • في صخور القمر • ظهورها في تجربة ميلر • وتيرة الاستبدال في البروتينات من التبدل الطفرة •
- D-amino acids, naturally occurring, 233 الحوامض الامينية : الطبيعية الظهور •
- ammonium cyanide: as precursor of amino acids and purines, 160 سيانيد الامونيوم كطليعة الحوامض الامينية والبيورينات •
- anaerobes: earliest life forms, 29; oxygen tolerance level, 31 اللاهوائيات : اول اشكال الحياة • مستوى تحملها للأكسجين •
- anaerobic breakdown of glucose, 123, 124; energy yield, 128 التجزئة اللاهوائية للجلوكوز - محصول الطاقة منه •
- archaebacteria: cell wall composition, 106; difference in tRNAs, 106; membrane composition, 106; occurrences of, 107, 108 الاركيبكتيريا : تركيبة الجدار الخلوي ، الفارق في ال آر ان أي الناقلة • تركيبة الغشاء • ظهورها •
- Archean era: atmosphere composition, 12; temperature, 14 الدهر الاركي: تركيبة الجو • درجة الحرارة •
- Astasia, 90 الغيف او العجز عن الوقوف او الانتصاب •
- Athiorhodacea: nutritional requirement, 26; resemblance to earliest organisms, 26 الاثيوروداسيا : متطلباتها الغذائية ، وشبهها بأقدم المتعضيات •
- atmosphere: composition of early, 9; الجو: تركيبة الجو الاولى • تركيبته خلال الدهر الاركي ، وفي الارض •



during Archean era, 12; on primordial earth, 156; when life began, 28
ATP: biological energetics, 112-15; chemical structure, 164; energy of hydrolysis, 112; prebiotic occurrence, 165; production by chloroplasts, 121; three means of synthesis, 117-28

bacteria, size and composition of, 87, 134

banded iron formation: last major episode, 19, 30; origin, 19

Beck Spring Dolomite fossils, 24

Beckspringia, 32; biological cell, minimal requirements, 147, 148; models for, 198-205; smallest autonomous, 135

biological systems: basic structural units, 207; commonalities, 131

Biot, Jean Baptise, 230

Bitter Spring Formation, microfossils in, 20 blue-green algae. See cyanobacteria

blue-green algae. See cyanobacteria

Buchner, Eduard: discovers the enzymic basis of fermentation, 54

Bulawayan stromatolites, date of formation of, 20

Brown, Robert: discovers the nucleus of the cell, 40

calcium sulfate, oldest oldest deposits of, 31

• وعندما ابتدأت الحياة .
الإنسب : الطاقات البيولوجية ، البنية الكيميائية . طاقة العلامة •
حصولها ما قبل الحياة ، انتاجها في الجيلات اليخضورية ، ثلاث وسائل لتمثيله .

البكتيريا : حجمها وتركيبها .

التشكيلات الحديدية الطبقية .
وقائعها الرئيسية الاخيرة . اصلها .
احافير دولوميت بيك سبرينغ •
البيكسبرينغيات : الخلايا البيولوجية ومتطلباتها الادنى • نماذج منها •
اصفر المتعضيات الذاتية الادماء .

المنظومات البيولوجية : وحداتها
البنوية الأساسية ، وصفاتها
المشتركة

• جان بابتيست بيو •

الاحافير الجهرية في تشكيلة بيتربيرنغ •

الطحالب الخضزررقاوية : انظر
السيانوبكتيريا •

ادوارد بوخنر يكتشف الاساس
الانزيمي للتخمير •

الستروماتوليت البولاويوية : تاريخ
تكونها •

روبرت براون يكتشف نواة الخلية •

كبريتات الكلسيوم : اقدم الرواسب



- Cambrian period: definition, 15; fossils, 15, 16; temperature, 36; thickness of fossil strata, 17 . الحقب الكمبري: تعريف . احافير . درجة الحرارة . سمك الطبقات . الاخفورية .
- carbodiinides, as condensing agents, 189, 194 ثنائي ابيدات الكربون كعوامل
- carbon dioxide: concentration in early atmosphere, 10; greenhouse effect due 10, 10 ثاني اوكسيد الكربون: تركيزه في الجو الاولى . أثر تثبيت ثاني المستنبت له: اقدم ظهوره، وتمثيله الضوئي .
- carbon dioxide fixation: earliest occurrence, 23; photosynthesis and, 125
- carbonaceous chondrites, organic matter in, 246-54 الغضروفيات الكربونية والمادة العضوية فيها .
- cells: as basis of life, 40, 41; early models of, 198-205; number in the human body, 48 الخلايا : اساس جميع الحياة . نماذجها الاولى . عددها في الجسم البشري .
- Chaos chaos, number of mitochondria in, 44 كاؤس كاؤس : عدد الميتوكوندريا فيها .
- Charnia, as Proterozoic fossils, 16 شارنيا كاحافير بروتروزوية .
- Chase, Martha, 60 مارثا تشيز .
- Chitinozoans, earliest fossils of, 24 الصدفيات واقدم احافيرها .
- Chlamydomonas, coding for proteins in chloroplasts of, 91 الكلاميدومونا او الحرشفيات : دسرتها للبروتينات في الجيلات اليخضورية .
- Chlorobium: nitrogen fixation by, 102; resemblance to earliest organisms, 26 الكاوروبيوم : تثبيتها للنيتروجين ، شبهها بالمتعضيات الاقدم .
- chlorophyll: chemical structure, 119; in photo-synthesis, 118 اليخضور : البنية الكيميائية ، وفي التمثيل الضوئي .
- chloroplasts: as symbionts, 90, 91; ATP synthesis by, 121; DNA in, 89; electron micrograph, 122; number in plants, 45 الجيلة اليخضورية كمتعايشة ، تمثيلها للآت، والذي أن اي فيها . صورة الكترونية منها . عددها في النباتات .

- chloroxybacteria, 47
- chordate, earliest fossils of, 36
- Chromatium, resemblance to earliest organisms, 26
- Chromatium thiosulfatophilum, ferredoxin of, 82
- chromosomes, number in species, 46
- clay: in polymerization of amino acid adenylates, 174, 175; natural occurrences, 173
- Clostridium pasteurianum, ferredoxin of, 82
- clostridia: as ancient organisms, 102; nitrogen fixation by, 102
- coacervates: 205, 210; as protocells, 200, 201; preparation, 200
- cocci, size of, 87
- coelenterates: in Ediacara fauna, 17; regeneration by, 34
- coenzymes, as catalytic sites of enzymes, 226-28
- Cold Bokkeveld meteorite, 247, 249
- cold plasma: condition for producing building blocks, 172; proteid structure production in, 201, 202
- colloids, 199
- condensing agents, on prebiotic earth, 193, 194
- continents: growth of, 13, 14; oldest, II
- Correns, Carl Erich, 57
- crust, principal minerals of the earth's 8
- الكروماتسيوم : أقدم أحافيرها.
- الكروماتسيوم : شبهها بأقدم المتعضيات
- الكروماتسيوم ثيوسلفاتوفيلوم : الفريدوكسين فيها.
- الصفوسومات : عددها وأنواعها .
- الصامصال : في بلمرة أدنيلات
- الدوامض الأمينية . مواقعها الطبيعية .
- كلوستريديوم باستورانيوم : الفريدوكسين فيها.
- الانقذات: كخلايا أولية. تحضيرها.
- المكورات وحجمها.
- اللاحشويات في أحياء إدياكارا . توليدها.
- الإنزيمات المساعدة كمواقع التحفيز للإنزيمات .
- نيزك كولد بوكفيلد .
- البلازما الباردة ، شروط إنتاج لبنات البناء ، وإنتاج البنية شبه البروتينية فيها .
- الفروانيات .
- عوامل التكثيف في الأرض ما قبل الحياتية .
- القارات ونموها . أقدمها .
- كارل أريخ كورينز .
- لشرة الأرضية والفلزات الأرضية الرئيسية .



cyanamide, as condensing agent, 194
Cyanidium calidarium, 236

السياناميد كعامل تكثيف .
سيانيدوم كاليداريوم

cyanobacteria (blue-green "algae"), 21; earliest appearance, 23, 103; occurrences, 27; oxygen liberation by, 30; resemblance to Gunflint Formation microfossils, 20; stromatolite formation by, 18, 20

السيانوبكتيريا (الطحالب الخضراء زرقاوية). أقدم ظهورها. وقائعها إطلاقها للأوكسجين . شبهها بالأحافير المجهرية للضوان الوري. تكهان الستروماتوليت بها.

cyan-protein theory, 150

نظرية السيان - البروتين.

cytochrome c: in molecular evolution, 76, 78; phylogenetic tree based on, 78

السايتوكروم سي : في التطور الجزيئي، والشجرة السلالية المبنية عليها.

de Broglie, Louis, 42

لويس ديبروغلي.

De Vries, Hugo, 57

هوغو دفريز.

Deoxyadenosine, abiotic synthesis of, 163

التمثيل اللاحيوي للادنوسين القليل الأوكسجين .

(DNA)

دان

deoxyribonucleotides, chemical structure of, 62

البنية الكيميائية للريبونوكليوتيدات القليلة الأوكسجين .

Deoxyribose, prebiotic synthesis of, 162, 163.

التمثيل اللاحيوي للريبوز القليل الأوكسجين

Desulfovibrio: nitrogen fixation in, 102; reduction of sulfate by, 103

الارتجاجيات اللاكبريتية . وتثبيت النيتروجين فيها ، واختزالها للكبريتات.

Dialister pneumosintes, size and composition of, 134

ديالستريوموستتر ، حجمها وتركيبها.

DNA: electron photomicrograph, 74; in chloroplasts, 89; in mitochondria, 89; mutation rate of, 75; silent segments in, 131; transcription to proteins, 67, 68

دان اي صورة الكترونية . حصوته في الجبيلات اليخضورية، وفي الميتوكوندريا ، وتيرة تبدل الطفرة فيه . شدد صامتة . نسخه الى بروتينات.

Donahue, Jerry, 64

جيري دوناھيو.



double helix, as basic structural unit, 207
أساسية . كوحدة بنيوية

early earth, conditions of, 7-14
الأرض الأولى وأحوالها .
Ediacara Hills: Proterozoic fossils from, 17
تلأل إيدياكارا : أحافيرها البروتروزوئية وأهمية الشكل الأحفوري لها .

electromagnetic spectrum, 118
الطيف الكهرومغناطيسي .
electron acceptors, in photosynthesis, 119
المستقبلات الإلكترونية في التمثيل الضوئي .

electron microscope, in analysis of the cell, 42
المجهر الإلكتروني في تحليل الخلية .

electron transport pathways, 104
مسالك نقل الإلكترون .
elements, essential: 139-45; concentrations of, 144; mineral abundances of, 145
العناصر الجوهرية : تركيزاتها وغزارتها الفيزية .

Embden-Meyerhof pathway, 123, 124
مسلك إيمبن مايرهوف .

endoplasmic reticulum, 46
شبكة الجبيلة الباطنية أو الإندوبلازما .

energetics, of biological systems, 110-15
طاقات المنظومات البيولوجية .

energy: hydrogen sulfide as acceptor of, 155; requirement to reduce carbon dioxide, 117; role in stages of evolution, 257, 259; sources on primordial earth, 154
طاقة : كبريتيد الهيدروجين كمتقبل لها . شروط اختزالها لثاني أكسيد الكربون . دورها في مراحل النشوء . مصادرها على الأرض البدائية .

enzymes: first crystallization, 55; mode of mechanism, 130; origin of, 221, 222, 225; rates of catalysis, 129
الانزيمات : أول تبلور لها . طريقة أليتها . تنشأ هنا . ومعدلات تحفيزها .

eucaryotes: earliest emergence of, 23, 32, 95; microfossils of, 23; organisms classified as, 47
اليوكاريوت : أقدم ظهور لها . الأحافير المجهرية . تصنيفها كمتعضيات ، اليوغلينا .
Euglena, 90

- fermentation: enzymic pathway of, 123, 124; energy yield from, 126
التخمير : مسلكه الانزيمي ، والطاقة
الناجمة عنه .
- ferredoxin, 186; amino acid composition, 82; evolution, 133, 134; first occurrence, 26; in clostridia; 102; *Clostridium pasterianum*, 82; 82;
الفريدوكسين : تركيبة الحوامض
الامينية . نشأته . اول وقوعه ،
وفي الكلوستريديا . في
الكلوستريديوم باستورانوم .
كروماتوم ثيوسلفوفليوم . وجوده
في التمثيل الضوئي ، آليته
وظيفته . اصله ،
- Chromatium thiosulfatophilum*, 82;
2in photosynthesis, 121, 122; mechanism of function, 82; origin of, 221
الليغوهضميتيدات في النشوء
الجزئي .
- fibrinopeptides, in molecular evolution, 79
مجموعة شجرة التين . احافيرها
المجهرية . المادة الصغوية فيها .
- Fig Tree Group: microfossils, 21, 22;
organic matted in, 22
اميل فيشر يوضح بنية السكاكر .
- Fischer, Emil: elucidates structure of sugars, 52
أميل فيشر يكتشف احافير
شارنيا .
- Ford, Trevor: discovers *Charnia* fossils, 16
الاحافير في الصخور الكمبرية وفي
تلال ادياكارا ، وفي القرنيات .
اول الحلييات .
- fossils: in Cambrian rocks, 15; in Ediacara, Hills, 16; chitinozoans 36; earliest chordate, 36
روزالند فرانكلين
فرضية غايا او الارض ام الجارية .
- Franklin, Rosalind, 63
Gaia Hypothesis, 260
جوزيف لويس غاي لوسالك يطل
السكر .
- Gay-Lussac, Joseph Louis: analyzes sugar, 50
الجينات المتسامة النسيجية . عدد
النووتيدات . عددها في الخلية
البدائية السلالية .
- genes: mammalian complement, 81; nucleotide number, 79; number in ancestral primordial cell, 81
المعونة الجينية وفك رموزها .
الجنومة ونسخها في النشوء .
- genetic code, deciphering of, 70, 71
genome, duplication in evolution, 133
المتواليات الهندسية في النشوء
- geometric progression, in evolution, 131, 132



- glaciation, during Late Precambrian period, 36 التجلد او التلج في الحقب ما قبل الكمبري الاخير .
- glucose, abiotic breakdown of, 228 الفلوكوز وتجزئته اللاحيوية
- glutathione, as noncoded peptide, 237, 238 الغلوتاثيون كهضميتيدة غير مرموزة . هضميتيدة .
- Glogi apparatus, 45 جهاز كولجي .
- Gonium, 33 الفونيوم .
- gramicidine S, as a noncoded peptide, 238 الغراميسيدين اس كهضميتيدة غير مرموزة .
- green sulfur bacterium. See Chlorobium بكتيريا الكبريت الاخضر . انظر كلوروبيوم .
- greenstone belts: as oldest rocks, 14; formation of, 12
- Gunflint Formation location of, 19; microfossils in, 20 تشكيلة الصوان الوري . موقعها . والاحافير المجهرية فيها .
- Halobacterium salinarium, 104 البكتيريا الملحية او هالوبكتيريوم .
- Harlech Castle, 83, 84 قلعة هارليك .
- helix, in the structure of proteins, 179 اللولب في بنية البروتينات .
- hemoglobin, mutation in evolution, 75, 78, 79 الهيموغلوبين . التبدل الطفري خلال نشونه .
- Hershey, Alfred, 60 الفريد هرشي .
- heteropolypeptides, 171, 172 البولي هضميتيدات الامتجانسة .
- Hoagland, Mahlon: discovers transfer RNAs, 68 ماهلون هوغلاند يكتشف الار ان اي الناقلة .
- Hooke, Robert, 40 روبرت هوك .
- Hoppe-Seyler, Ernst, 58
- hydrogen bond, strength of, 64 الرابط الهيدروجيني وقوته .
- hydrogen cyanide: as precursor of amino acids, 157, 160; as precursor of pyrimidines, 160 سيانيد الهيدروجين طليعة للحوامض الامينية والبريديينات .
- hydrogen sulfide, as photon acceptor, 155 كبريتيد الهيدروجين متقبل فوتون .

- imidazole, catalytic properties of, 192
 island arcs, role in evolution of continents, 12
 Isua Iron Formation, age of, 11
 Jeewanu, 204, 205, 210
 Kakabekia barghoorniana, 83, 84
 Kakabekia umbrellata, 83
 Kequlé, August, 52
 Kerogen, isotope preference in formation of, 23
 Kirchhoff, Gustav: hydrolyzes starch to sugar, 50
 Kossel, Albrecht: isolates purines and pyrimidines, 59
 Krebs cycle, 126-28
 light, and photosynthesis, 117
 lipid bilayer membrane, 207-15; as a basic structural unit, 207; composition of, 207; evolution of, 213; in photosynthesis, 122; insulating capacity of, 210
 lipoproteins, as surface films in nature, 211
 lipids: as essential compounds, 147; properties of, 147
 liposomes: as model of biological cells, 214; formation of, 208; 214; self-assembly by, 147
 living fossils, 83, 85
 lock and key hypothesis, 181
 lysosomes, role in the cell, 45
 lysozyme: amino acid sequence, 183; evolution of, 185; function, 183; occurrence, 182; structure, 183-85
- ايميدازول وخواصه التحفيزية .
 الأقواس الجزائرية ودورها في نشأة القارات .
 تشكيلة ايسوا الحديدية وعمرها .
 جيوانو .
 كاكابيكيا برغورنيانا .
 كاكابيكيا امبريلانا
 اوغسط كيكلو
 كيروجين والتفضيل النظائري في تكوينه .
 غوستاف كيرشهوف يحلّمىء النشاء الى سكر .
 دورة كريبس .
 الضوء والتمثيل الضوئي .
 الأغشية المزدوجة الغشاء الدهني ونشأته ، وإنتاجه بالتمثيل الضوئي وقدرته العازلة .
 الدهنوبروتينات كرفائق سطحية في الطبيعة .
 الليبيدات كمواد أساسية ، 147 ؛ خواصها ، 147
 الليسومات كنموذج للخلايا البيولوجية . تكوينها ، والتنامي الذاتي .
 الأحافير الحية
 فرضية القفل والمفتاح
 دور الليسوزومة في الخلية .
 سياق الحوامض الأمينية
 الليسوزومة ، نشأتها ، وظيفتها ، تواجدها ، بنيتها .



- man, earliest appearance in evolution, 38
- McGregor, Vic, 11
- Mendel, Gregor, 57
- Mereschowsky, K. C., 88, 93
- messenger RNA, role in transcription, 69, 70
- Metazoa, energetics of, 33, 35
- meteorites: categories of, 246; organic matter in, 246-54; origin of, 249
- Microciconia prolifera, regeneration by, 34
- microfossils: in Beck Spring Dolomite, 24; in Flag Tree group, 21, 22; in Gunflint Formation 20; in Onverwacht Series, 21, 22; organic matter in, 22
- Microsteria, 44
- Miller experiment, 171; compounds produced by, 152-54; description of the apparatus, 3; spherules from, 201; synthesis of amino acids by, 5
- mitochondria, 91, 92; description of, 44; DNA in, 89; origin of, 91; Paracoccus denitrificans as codescendant of, 92; role in the cell, 44
- mitosis, description of mechanism of, 46
- Mixotricha paradoxa, 94
- models, for biological cells, 198-205
- Mohl, Hugo, 40
- Mokoia meteorite, 251
- molecular evolution, 76-79
- molecular weight, methods of determining, 55
- الإنسان وأول نشأة ظهوره.
- فيك ماكجريجور .
- ميريشوفسكي .
- الآر إن أي الرسول ودورها في لانسخ أو النقل .
- طائقات التوالي .
- النيازك ، فئاتها ، المادة العضوية فيها، أصلها .
- ميكروسبوندا بروفيرا ، عملية التوليد فيها .
- الاحافير المجهرية في دولوميت بيك سبرينغ ، وفي مجموعة شجرة التين ، وفي تشكيله الصوان الوري ، وفي مسلسل انفرواكت ، والمادة العضوية فيها .
- الميكروستيريا .
- تجربة ميلر .
- أركبات الناتجة عنها .
- وصف الجهاز .
- الكريات منها .
- تمثيل الحوامض الامينية فيها .
- الميتوكوندريا .
- وصفها .
- الذي ان أي فيها .
- شبه الكورات
- اللانيتروجينية كاسلال جانبية منها .
- دورها في الخلية .
- الانقسام الالامباشر ، ووصف آليته .
- ميكسوتريخا بارادوكسا .
- نماذج للخلايا البيولوجية .
- هيوغو موهل .
- نيزك موكويا .
- النشوء الجزيئي .
- الوزن الجزيئي واساليب تحديده .

- moon rocks, amino acid precursors in, 253 الصخور القمرية وطلائع الحوامض الامينية فيها .
- Mulder, Gerardus, 50-51 جراردوس مولدر .
- multicellular organisms. See Metazoa المتعضيات المتعددة الخلايا . انظر التواحي .
- Murchison meteorite: organic matter in, 252; photograph of, 253 نيزك مارجيسون والمادة العضوية فيه ، وصورة له .
- mutation, as a molecular evolutionary clock, 75-79 التبدل الطفرى بمثابة ساعة للنشوء الجزيئي .
- mycoplasmas, size of, 87, 135 الميكوبلازما وحدها .
- Neurospora crassa, 59 نيسورا سيوراكراسا : البوغيات العصبية الخشنة .
- nicotinamide adenine dinucleotide (NAD); as an electron acceptor, 119, 120, 121; chemical structure, 120 ثنائي نووتيد ادينين النيكوتيناميد . متقبل الكتروني ، بنيته الكيميائية .
- nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP), 119, 120, 121 ثنائي نووتيد ادينين فوسفات النيكوتيناميد .
- nitrogen fixation, as an early process, 102 تثبيت النيتروجين كعملية اولية .
- nucleic acid: composition of, 60; discovery, 58, 59; essential role, 140, 142; helical structure, 64, 65 حامض النوويك وتركيبته . اكتشافه ، دوره الجوهرى بنيته اللولبية .
- nuclein, first preparation of, 58 النويين واول اعداد له .
- nucleotides: abiotic polymerization of, 188-96; base pairing, 63; composition of, 186 النوتيدات وبلمرتها الالحيائية . الازدواج القاعدي .
- nucleus, cellular, 43; symbiotic origin of, 92, 93 النواة الخلوية واصلاها التعايشي .
- oceans, early: composition, 9; formation, 9 البحار الاولى وتركيبتها وتكوينها .
- Overwacht Series, microfossils in, 21 مسلسل انفرواكت واحافيره الجهرية .



- optical activity: discovery by Pasteur, 51; origin, 230-33; stability in amino acids, 232, 253
النشاط البصري • اكتشافه من قبل باستور • أصله • استقراره في الأحماض الأمينية •
- organic compounds: in meteorites, 246-54; in microfossils, 250; 251; in the universe, 22
المركبات العضوية في النيازك وفي الأحافير المجهرية وفي الكون •
- Orgueil meteorite, 246-47, 249
نيزك أوغيل •
- oxidative phosphorylation, 126-28
الفسفرة التأكسدية •
- oxygen, atmospheric: earliest formation, 18, 31; source, 18
الأكسجين الجوي وأول تكونه ومصدره •
- ozone layer: description, 96; screening effects, 96
طبقة الأوزون ووصفها • فعلها الحاجب •
- Pandorina, 33
بندورينا •
- Paracoccus denitrificans, as a code-
scendant of mitochondria, 92
شبه المكورة اللايتروجينية أوباراكوكس وينترفيكانز، كسيلة جانبية للميتوكوندريا •
- Pasteur, Louis: discovers obligate isomerism, 51; shows biological anaerobes, 31; discovers optical isomerism, 51; shows biological cause of fermentation, 52; disproves spontaneous generation 149
لويس باستور يكتشف اللاهوائيات المبرعمة ، والايسومرية البصرية • يوضح السبب البيولوجي للتخمر • يفند التولد التلقائي •
- Pasteur point, 31, 36, 97, 235
نقطة باستور •
- peptides, noncoded: glutathione, 237; gramicidine S, 238; polyglutamic acid, 238; tyrocidine, 238
الهضمتيدات اللامرموزة • الفاوتائيون • الفراميسيدين أس • حامض البولي غلوتاميك • تايروسيدين •
- phospholipids: abiotic synthesis, 212; as essential compounds, 147; components of membranes, 207
الفوسفوليبيدات • تمثيلها • كهربات جوهريّة • مكونات الأغشية •
- phosphorus: as essential element, 143, 144; geological occurrence, 166; natural availability, 143, 144; on primordial earth, 164, 165
الفوسفور : عنصر جوهري • وقوعه الجيولوجي وتوفره الطبيعي، وفي الأرض البدائية •



- photophosphorylation, origin of, 121, 122, 218, 219 اصل الفسفرة
- photosynthesis, 116-28; chlorophyll role, 118; in early organisms, 103; role of the electron, 118; oxidation-reduction reaction, 118 التمثيل الضوئي ودور اليخضور في المتعضيات الأولية . دوره في الالكترونات ، بفاعل الاكسدة - الاختزال .
- photosynthetic bacteria, as earliest organisms, 26, 27 البكتيريا الضوء تمثيلية كأقدم المتعضيات .
- phylogenetic tree, 102 شجرة التطور السلالي .
- pleuropneumonia-like organisms (PP-LO). See mycoplasmas متعضيات شبه ذات الجنب الرئوية .
- polyaspartic acid, 171 انظر الميكوبلازما . حامض البولي أسپرتيك
- polynucleotides: abiotic synthesis, 191-95; chemical structure, 63; formation by splinting, 195, 196; uniform bonding formation, 217 البولي نووتيدات ، وتمثيلها اللاحيوي . بنيتها الكيميائية . تكوينها بالتجسير . تكون الترابط المتسق المتوحد .
- Pongola stromatolites, date of, 20 ستروماتوليت البونغولا وتاريخها
- prebiotic synthesis of: adenine, 160; deoxyadenosine, 163; deoxyribose, 162, 163; polynucleotides, 191-94; purines, 160; pyrimidines, 160; pyrophosphates, 165; ribose, 162, 163; sugars, 161, 162 التمثيل ما قبل الحيوي للادنين والادنوسين القليل الاوكسجين والريبوز القليل الاوكسجين والبولي نووتيدات والبيورينات والبريميدينات والبيروفوسفات والريبوز والسكرات .
- primitive cells, on primordial earth, 219 الخلايا البدائية على الارض الأولية .
- primordial soup, 151; absence of, 234 الحساء البدائي . عدم وجوده .
- principle of continuity, 210 مبدأ الاستمرارية .
- procaryotes, organisms classified as, 46, 47 المتعضيات المصنفة كبروكاريوت .
- proteid structures, from cold plasma reactions, 201-02 البنى شبه البروتينية من تفاعلات البلازما الباردة .
- proteinoid: composition, 170, 171; definition, 169, microsphere preparation, 203 شبه البروتينات : تركيبها . تعريفها واعدادها الميكروسفيري .
- proteinoid microspheres, 205, 210; الميكروسفيرات او الكريات الجهرية

- photomicrograph, 203; preparation, 204; properties, 203. 204; "reproduction," 203; 204
شبه البروتينية . صورة
الكثرونية . أعدادها . خواصها .
تكاثرها .
- proteins: biological roles, 178; molecular weights, 55; number in a cell, 177; structure, 179-82
البروتينات . ادوارها البيولوجية .
أوزانها الجزيئية . عددها في
خلية . بنيتها .
- Prout, William, 51
سيود ديموناز راديو ديورانز في
في احواض ماري المفاعلات
الذرية .
- purines, from ammonium cyanide, 160
البيورينات من سيانيد الامونيوم .
- purple sulfur bacterium. See Chromatium
بكتيرية الكبريت الارجواني . انظر
كروماتيوم .
- pyrimidines, from hydrogen cyanide, 160
البريميدينات من سيانيد الهيدروجين
- prophosphates: abiotic synthesis, 165; before ATP, 237
الفوسفات : تمثيلها الاحيوي . قبل
الاتب .
- quinones, in photosynthesis evolution, 219
الكوينون في نشأة التمثيل الضوئي .
- regeneration: by coelenterates, 34; by embryos, 34, 35; by Microciconia prolifera, 34; by sponges, 34
التجدد : في اللاحشويات ، الاجنة .
بالميكروسيونا بروفيرا . بالاسفنج .
- Rhodospirillum rubrum, prophosphates in, 237
رودوسبيريلوم روبروم
والبيروفوسفات فيها .
- ribose, prebiotic synthesis of, 162, 163
الريبوز وتمثيله ما قبل الحيوي .
- ribosomal RNA, indicator of bacterial phylogenetics, 104, 105
الار ان اي الريبوسومي كمؤشرات
التطور السلالي البكتيري .
- ribosomes: composition, 43; in origin of life, 221; role in protein synthesis, 43, 44, 69, 70 rickettsiae, 135, 136
الريبوسومات : تركيبها . في اصل
الحياة . دورها في تمثيل
البروتين . الريكتسيا .
- Schimper, A. F. W.: discovers chloroplasts reproduce by division, 88
اي اف دبليو شيمبر يكتشف ان
الجيلات اليخضورية تتكاثر
بالانقسام .
- Schleiden, Matthias, 40
نيودور شفاين . النظرية الخلوية
للحياة . يكتشف الهضميين .
- Schwann, Theodor, 40, 50; cellular theory of life, 40; discovers pepsin, 53



scrapie, 239

Sedgwick, Adam: first to use name Paleozoic, 15

self-assembly: by embryos, 35; liposomes, 147; by ribosomes, 138; by viruses, 138; in origin of life, 137, 138

shock waves, as energy source, 155, 156

Siderococcus, resemblance to Gun-uint microfossils, 20

spherules, from Miller experiment, 201

silicon: as basis of a biological system, 241; possible role in the origin of life, 241

solar wind, as source of amino acid precursors, 254

Sphaerotilus, resemblance to Gun-flint microfossils, 20

spirochetes, as symbionts of: mitotic process, 94, 95; undulipodia of eucaryotes, 94

Spirogyria, 45

Sprigg, Reginald: discovers Ediacara fossils, 16

Stahl, Georg Ernst, 49

stromatolites, date of formation, 18

sugars: in meteorites, 251; prebiotic formation, 161, 162

sulphobes, 201

Symbiosis

داء العصب في الأغنام .

آدم سيجويك أول من يستعمل اسم
الاحتائي أو الباليونوتي .

الانتماء الذاتي: في الأجنة . في
الدهنوسومات في الريبوسومات .

في الفيروسات .

في أصل الحياة .

الأمواج الصدمية أو الارتجاجية
ك مصدر للطاقة .

شبه السييدروكوكس بالاحافير
البحرية في الصوان الوري .

الكريات من تجربة ميار .

السيروكيت أو اللولبيت كمتعاشات
في: عملية الانقسام الفتيلي أو

اللامباشر . متعوجات الأرجل
اليوكاريوت . السبروجيرا .

ريجنالد سبريغ : يكتشف احافير
إدياكارا .

جورج ارنست شتاهل .

التجانسية الجسمية والاستثناءات
منها .

الستروماتولايت وتاريخ تكوينها .
السكاكر في النيازك . تكوينها ما قبل

الحيوي .

منافرات الكبريت .

التعاشي .



- symbiotic origin of organelles theory, نظرية أصل تعايش الاورغانيات, 88-99; proposed by K. C. Meres-
 schowsky, 88 .
 synthetic biology, 198 .
 temperature: during Archean era, 12; .
 during Cambrian period, 36; during
 Middle Archean era, 30 .
 Thermoplasma acidophilum, as co-
 descendant of eucaryotic cell, 92 .
 Titan, conditions for life, 242 .
 transcription, mechanism of, 67, 68 .
 transfer RNAs: derivation, 220; mini-
 mal requirement for formation, .
 141, 142; structure, 68, 69 .
 transport system, mediated diffusion
 as, 209 .
 trilobites: during Cambrian period, .
 16; end of existence, 3' .
 tyrocidine, as noncoded peptide, 238 .
 ultraviolet light, penetration of water
 by, 97, 218 .
 urease, as first srystalized enzyme, 55 .
 van Leeuwenhoek, Anton, 39-40 .
 vesicles: formation in nature, 212; .
 model of cell, 210, 211; prepara-
 tion in simulation experiments, 212-
 14; transport system for, 209 .
 virus: crystallization, 59; electron pho-
 tomicrograph, 60, 136; evolution,
 135, 136; size, 135 .
 Vitalism, theory of, 49 .
 Volvox, 33 .
 von Seysenegg, Erich Tschermak, 57 .
 water, as an essential substance, 145, .
 Wilkins, Maurice, 63 .

الفهرست

٨	١- كشف الاشكال
١٣	٢- المقدمة
١٧	٣- مقدمة المؤلف
١٩	٤- توطئة
٢٥	٥- الفصل الاول / اللبنيات البنائية
٣٥	٦- الفصل الثاني / الارض الاولى
٥٣	٧- الفصل الثالث / الحياة في الازمنة السابقة لما قبل الحقبة الكمبرية
٧٥	٨- الفصل الرابع / عصر البروكاريوت
٩١	٩- الفصل الخامس / ظهور اليوكاريوت
١٠٧	١٠- الفصل السادس / الطبيعة الخلوية للحياة
١٢٥	١١- الفصل السابع / الرياضة الجزيئية
١٤٣	١٢- الفصل الثامن / الاساس الجزيئي للحياة
١٦١	١٣- الفصل التاسع / من المطبوعة الى المتعضية
١٧٣	١٤- الفصل العاشر / خيط متواصل
١٩٥	١٥- الفصل الحادي عشر / نوعان من الحياة
٢٢١	١٦- الفصل الثاني عشر / البكتيريا الاركية او الاولى
٢٣٧	١٧- الفصل الثالث عشر / الطاقوت
٢٤٧	١٨- الفصل الرابع عشر / القوة الدافعة
٢٦٩	١٩- الفصل الخامس عشر / مسألة التكوين
٢٨٩	٢٠- الفصل السادس عشر / جوهريات الحياة
٣٠٧	٢١- الفصل السابع عشر / البحث عن اللبنيات البنائية
٣٢٥	٢٢- الفصل الثامن عشر / النوى سيد والنوى تيد والات ب
٣٣٩	٢٣- الفصل التاسع عشر / الهضميتيدات
٣٥٧	٢٤- الفصل العشرون / غموضية الانزيمية
٣٧٣	٢٥- الفصل الحادي والعشرون / تجبير الجينات

٣٩١	٢٦- الفصل الثاني والعشرون / جسيمات الحياة
٤٠٧	٢٧- الفصل الثالث والعشرون / الغلاف الحيوي
٢٤٣	٢٨- الفصل الرابع والعشرون / ظهور الخلايا
٤٣٧	٢٩- الفصل الخامس والعشرون / الخلية العجيبة
٤٥٧	٣٠- الفصل السادس والعشرون / طرائق اخرى / امكان اخرى
٤٧٥	٣١- الفصل السابع والعشرون / المركبات العضوية في الكون
٤٩١	٣٢- الفصل الثامن والعشرون / الارض ام الجابرة

هــسـا بـرهنـت (اللمبـي)

متاح للتحميل ضمن مجموعة كبيرة من المطبوعات من صفحة

مكتبتي الخاصة

على موقع ارشيف الانترنت

الرابط

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem



